초고층 빌딩의 최적 방재시설 설계방안에 관한 연구

윤 아 영
(주)한국방재 엔지니어링
(fire0817@naver.com)

1. 서 론

빌딩의 대규모화, 복합화, 심층화 및 고층화와 관련하여 최근 크고 작은 재난에 따른 사건이 빈번하게 발생하고 있다. 따라서 국민의 재산보호 및 인명손실을 최소화하기 위하여 선진 외국에서는 이미 성능위주 설계법을 도입하고 있다. 하지만 국내에서는 현재 성능위주 설계를 인정받지 못하고 있는 실정이다. 다행스럽게도 2009년 1월부터는 성능위주설계가 가능해질 것으로 예상되고 있으나 여러 가지 제한사항들로 인하여 얼마만큼의 실효성을 거둘지에 대해서는 아직은 미지수이다.

현재 전 세계적으로 많은 초고층 빌딩들이 경쟁적으로 계획 및 시공되고 있고 우리나라 또한 여러 초고층 빌딩들이 설계 및 시공되고 있다(그림 1 참조).

이 글은 초고층 빌딩의 설계 과정에서 법규상으로는 해결할 수 없는 문제점과 법규이 장벽으로 성능위주의 설계가 반영되지 못하는 다수의 경우를 제시하였다. 미국 등의 선진국에서는 이미 성능위주의 설계가 보편화되어 있어 우리나라의 법 적용의 강제성에 대한 미국 등 선진국의 설계자들과의 견해차로 인해 많은 논쟁거리가 되고 있다.

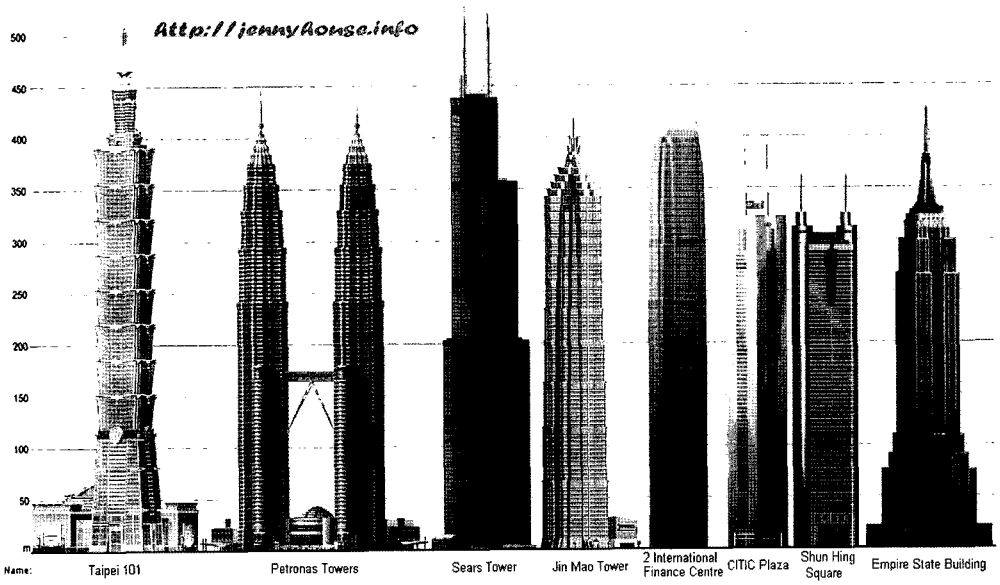


그림 1. 세계 초고층 빌딩 현황

이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 외국의 법규와 사례를 수집·연구함으로서 초고층 빌딩이 적합한 규정에 의해서 적합한 설계가 이루어 질 필요가 있음을 알게 되었다.

이 글에서는 초고층 빌딩에서 문제가 되는 중요한 사항을 두 분야로 나누어 연구하였다.

첫째, 우리나라 법규 상 명시되어 있으나, 초고층 빌딩에 적용하였을 때 발생하는 문제점들에 대하여 외국의 사례 및 법규를 적용하여 초고층 빌딩에 적용 가능한 법규 개선사항에 대하여 연구하였다.

둘째, 우리나라 법규 상 명시되어 있지 않으나, 초고층 빌딩의 특수성으로 인해 발생하는 문제점 해결에 필요한 시스템 및 설비에 관한 규정 신설에 대하여 연구하였다.

2. 현행 법규상의 문제점과 개선 대책

2.1 연돌효과

2.1.1 국내 법규

건축법에서는 빌딩이 저층이든 초고층이든 관계없이 모든 계단은 피난층까지 직통으로 이어져야 한다고 규정되어 있다.

2.1.2 국내 법규상의 문제점

107층 빌딩의 피난계단을 직통계단구조로 할 경우 연돌효과에 의한 연기가 중성대 아래에 위치한 층(지하층 포함)에서는 거실에서 특별피난계단 방향으로 흐르고, 중성대 상부층은 특별피난계단에서 거실 방향으로 흐르게 된다.

따라서 부속실의 압력을 거실이나 복도보다 +40~60pa의 압력을 유지하도록 규정하고 있는 소방법의 규정은 연돌효과(Stack effect)에 의한 압력 때문에 의미가 없어지게 된다.

일례로서 107층 부분에서는 압력이 +240pa이 걸리게 되고 1층에서는 -240pa이 걸리게 된다.

<연돌효과 압력식>

$$P = 9.8(h - h_{np})h_i(T_i - T_o)/T_o$$

h : 건물높(m)
h_{np} : 중성대까지 높이(m)
h_i : 공기밀도(1,183)
T_i : 거실온도(절대온도)
T_o : 외부온도(절대온도)

따라서, 저층부에서는 특별피난계단으로 연기가 쉽게 침투하며 고층부에서는 피난계단의 문을 열 수 없는 상황이 발생된다.

2.1.3 개선방안

초고층 빌딩에서는 연돌효과 방지를 위하여 특별피난계단을 20층~25층마다 층간 구획이 가능하도록, 그리고 특별피난계단의 계단실 최상부에는 화재시 최상부에 체류하는 연기를 배출하기 위한 배기구를 설치하도록 건축법상의 특별피난계단구조에 대한 규정의 개선이 필요하다.

2.2 직통계단의 규격

2.2.1 국내 법규

건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙 제 15조 계단의 설치기준에 의해서 문화 및 집회시설, 판매시설 기타 이와 유사한 용도로 쓰이는 빌딩의 경우와 바로 윗층의 거실 바닥면적이 200 m^2, 거실 바닥면적 합계 100 m^2 이상인 지하층의 경우 계단 폭을 1.2 m 이상으로 하도록 규정하고 있다.

2.2.2 국내 법규상의 문제점

현재 빌딩의 높이가 고층화되고 지하층의 활용도가 높아지면서 그에 따른 수용인원의 수도 증가하고 있다. 그러나 현 법규상의 규정은 수용인원의 수와 관계없이 용도 및 바닥의 면적에 따른 계단폭을 제시하고 있어 최상층부터 피난하여 내려오는 사람과 중간층에서 피난하려는 사람들로 인해 계단실의 혼잡이 우려된다. 또한 수용인원이 많은 판매시설의 경우 피난시 병목현상이 두드러지게 나타나게 된다.

미국의 경우 수용인원을 기준으로 하여 계단폭을 산정한다. 최소폭은 계단이 있는 층의 수용인원이 50명 미만인 경우, 난간에서 또는 난간 밑으로 높이가 114 mm 이하인 돌출부를 제외하고 장애물이 없는 최소 유효폭은 915 mm이다. 수용인원이 50명 이상일 경우의 계단 최소폭은 2,000명 미만의 경우

1,120 mm, 2,000명 이상의 경우 1,420 mm이다.

2.2.3 개선방안

초고층 빌딩에서는 피난에 대한 계획이 중요하다. 피난계획 뿐만 아니라 건축계획부터의 근본적인 조치가 필요하다. 따라서 피난계단의 폭을 수용인원에 따른 계산을 근거로 확폭하는 규정이 필요하다.

2.3 배연설비

2.3.1 국내 법규

건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제14조 배연설비에 의하여 6층 이상의 건축물로서 문화 및 집회시설, 판매시설, 의료시설, 교육연구 및 복지시설, 운동시설, 업무시설, 숙박시설, 위락시설 및 관광휴게시설에 쓰이는 바닥면적의 1/100 이상의 유효면적을 가진 배연구를 설치하거나 소방관계법령의 규정에 적합한 기계식 배연설비를 설치하도록 규정하고 있다.

2.3.2 국내 법규상의 문제점

현 건축법상 지상 6층 이상에 배연설비 설치 시 배연창 사용이 가능하도록 되어 있어 빌딩의 높이가 높아질수록 외기의 영향을 크게 받게 된다. 따라서 고층부 일수록 배연창이 풍압으로 인해 제 역할을 할 수 없을 뿐 아니라 태풍 등으로 인해 배연창이 탈락하는 위험성도 가지고 있다. 또한 연돌효과의 문제점도 발생할 수 있으므로 기계식 배연설비를 설치해야 한다. 그러나 배연설비를 설치할 경우 층고를 높여야 하므로 초고층 빌딩의 경우 큰 걸림돌이 되고 있다.

미국의 경우에는 우리나라와 다른 규정을 적용하고 있다. 예를 들어 화재층에서는 배기를 하여 부압을 형성하게 하고, 화재층의 상하층에서는 급기를 하여 양압을 형성하여 연기가 침입되지 않게 하고 있는 일명 샌드위치 가압방식이다.

또한 우리나라의 소방법에서 요구하는 풍량과 풍압보다는 매우 작은 수치를 요구하고 있어, 상대적으로 이 설비로 인한 층고를 높여야하는 문제점은 안고 있지 않다.

사례로서는 아랍에밀레이트의 버즈 두바이 빌딩과 말레이시아의 PETRONAS 빌딩의 경우에 샌드위치 가압방식을 사용하고 있다.

2.3.3 개선방안

초고층 빌딩의 지상층에 설치하는 배연설비는 외국의 사례와 같이 화재층 배기, 그리고 그 상하층 급기 방식을 채택하고, 또한 풍량과 풍압을 제연커텐의 높이에 따라 일률적으로 적용하기 보다는 용도별로 풍량과 풍압을 규정하여야 하며, 그 기준량을 완화할 필요가 있다.

2.4 소화수원

2.4.1 국내 법규

소방관련법령 중 화재안전기준 스프링클러설비에서는 소화수원량을 20분간 지속할 수 있도록 규정하고 있다.

2.4.2 국내 법규상의 문제점

현 법규상 소화수원은 20분간 헤드에서의 방출압력을 1 kg/cm^2 기준으로 하고 있으나, 초고층 빌딩에서는 말단헤드에 높은 압력이 걸리게 되므로 10분 이내에 소화수원이 고갈될 우려가 높다.

미국의 경우 위험등급에 따른 급수시간에 준하여 소화수원의 양을 산정한다. Light Hazard의 경우 30분의 급수시간, Ordinary Hazard의 경우 60~90분의 급수시간, Extra Hazard의 경우 90~120분의 급수시간을 갖는다.

2.4.3 개선방안

초고층 빌딩은 일반건축물보다 빌딩의 높이가 높아 스프링클러 말단헤드에 높은 압력이 걸리게 되면서 계산된 소화수원 급수시간보다 훨씬 빠르게 고갈될 것으로 보인다. 건축물이 다양화됨에 따라 위험의 정도도 다양해진다. 따라서 미국의 방식과 같이 빌딩의 위험도와 특성에 따른 소화수원 산정방식으로의 국내소방법 개선이 필요하다.

3. 초고층 빌딩 관련규정의 신설

3.1 피난안전구역(Area of Refuge)

3.1.1 피난안전구역의 정의

피난안전구역이란 피난 시에 화재로부터 피난여유시간을 확보할 수 있는 임시 대피장소로서 주로 지체 장애인의 피난을 좀 더 여유있게 하기 위해 배려

된 공간이다.

3.1.2 현황 및 필요성

국내법규에 피난안전구역에 대한 규정은 없으나 초고층 빌딩에 대한 피난대책이 부각되면서 국내에도 피난안전구역을 계획하고 있는 건축물들이 늘어나고 있지만 강제조항이 없어 임대공간의 저하, 실효성 있는 유지관리의 어려움 때문에 자진설치하려는 건축주들이 많지 않은 실정이다.

피난 안전구역은 많은 인원들이 한꺼번에 피난계단으로 몰려들어 생기는 혼잡 문제와 보행속도가 느린 노약자, 사상자 및 장애우들로 인한 피난흐름의 지연을 방지하여 빠른 피난을 유도하는 역할을 할 수 있기 때문에 그 필요성이 절실하다고 할 수 있다.

3.1.3 개선방안

외국의 경우 법규상 명확히 제시하여 피난안전구역을 설치하도록 하고 있는데 중국의 경우 100 m를 넘는 건축물의 경우 15층마다 설치하도록 하고 있고, 대피면적과 피난안전구역에 필요한 시스템에 대한 항목이 명확히 나와 있다. 홍콩의 경우 25층을 초과하는 건축물에 대해서 20~25개 층마다 설치하도록 하고 있다.

현 국내법규에는 관련규정이 없는 바 외국의 사례를 기준으로 하여 초고층 빌딩에 대한 명확한 구분과 대상건축물에 대하여 피난안전구역의 기준의 재정이 필요하다.

3.2 피난용 엘리베이터

3.2.1 현황 및 필요성

현재 전 세계의 대부분의 나라에서 엘리베이터를 이용한 피난을 금지하고 있다. 왜냐하면 화재로 발생한 연기가 승강로를 통해 엘리베이터 내부로 침투하거나, 전기의 차단으로 탑승자들을 고립시킬 우려가 크기 때문이다.

그러나 최근 빌딩은 초고층화 또는 깊은 지하 공간의 개발이 증가함에 따라 피난용, 특히 이동 장애가 있는 사람들의 긴급 탈출 수단 뿐만 아니라 일반인들의 피난용으로도 주목받고 있다.

이 같은 내용은 WTC 사고 이후 초고층 빌딩에서의 엘리베이터를 이용한 피난이 설계에 반영되고 있고 또한 지속적인 연구도 진행 중에 있다.

국내에도 '초고층 붐'이라고 표현할 만큼 여러 100층 이상 또는 그에 준하는 초고층 빌딩 프로젝트가 진행되고 있다. 특히 이들은 지금까지 국내 초고층 빌딩 중 많은 수를 차지하고 있는 거주용도 위주의 주상복합빌딩이 아닌 오피스, 위락, 호텔, 판매 등의 용도로 불특정다수의 인원이 거주하게 되어 그 위험도가 더욱 증가된 복합건축물의 형태를 가지고 있다. 따라서 국내에서도 이러한 초고층 빌딩에서의 피난 및 비상대응의 연구와 대책 수립이 필요하다.

3.2.2 개선방안

엘리베이터를 이용한 피난은 초고층 빌딩에서 유용하게 사용될 수 있는 것은 분명하다. 그러나 지금까지 엘리베이터 피난을 금지해 온 이유들을 해결하지 못한다면 초고층 빌딩의 엘리베이터 피난은 허용될 수 없을 것이다. 열, 연기, 화염 등으로부터 엘리베이터를 보호할 수 있는 적절한 방화구획 및 제연설비가 계획되어야 하며 그 밖의 수손에 의한 손상, 장비의 과열, 전력, 엘리베이터 제어 등 여러 가지 해결해야하는 문제점들이 많이 있지만 연구를 통해 분명히 해결해야 하는 부분이다.

3.3 소방관 전용코어

3.3.1 현황 및 필요성

소방관 전용코어라는 것이 생소하게 느껴질 수도 있을 것이다. 그러나 이 계획은 안전한 소화활동을 위해 초고층 빌딩에서는 사전에 계획 및 검토되어야 할 사항이라 생각된다.

이 방식은 WTC 사고 이후에 제안된 방식으로서 소방관들의 소화활동 시스템은 화재층으로 진입하기 위해서는 비상용엘리베이터를 이용해 화재층의 2~3층 아래에서 내려 화재층까지 걸어 올라가는 것을 원칙으로 하고 있다. 그러나 피난을 하기 위해 계단을 통해 내려오는 사람들과 소화활동을 하기 위해 올라오는 소방관들의 동선이 계단실에서 중복되어 혼선이 발생된다.

따라서 화재 등 유사시 신속하고 정확한 진입과 활동을 위해 일반인들이 사용하지 않는 소방관 전용코어를 계획할 필요성이 있다.

3.3.2 개선방안

화재 등의 재난 발생 시 피난의 상황에서 일반인들이 소방관 전용코어에 진입하지 못하도록 소방관 전용코어로의 유도등은 설치하지 않아야 한다. 또한 소방관 코어의 특별피난계단과 비상용엘리베이터의 전실을 겸용하도록 하여 신속한 활동 및 소방관들이 상황을 판단할 수 있도록 한다. 그러나 이 같은 사항은 특별피난계단의 전실과 비상용엘리베이터의 전실을 겸용할 수 없다는 현행법에 위배되는 사항이지만 비상용엘리베이터를 이용해 나오는 소방관과 특별피난계단을 이용해 들어가는 사람들의 동선의 혼선을 우려한 법의 취지를 생각해 볼 때, 소방관 전용코어의 경우는 완화받을 수 있는 법규정이 필요할 것으로 판단된다.

다만 건축법에서 요구하고 있는 일반일들을 위한 특별피난계단은 법에서 요구하는 수 만큼을 설치하고 이 소방대원 전용계단은 법규 이외에 추가하여 설치하는 개념이다.

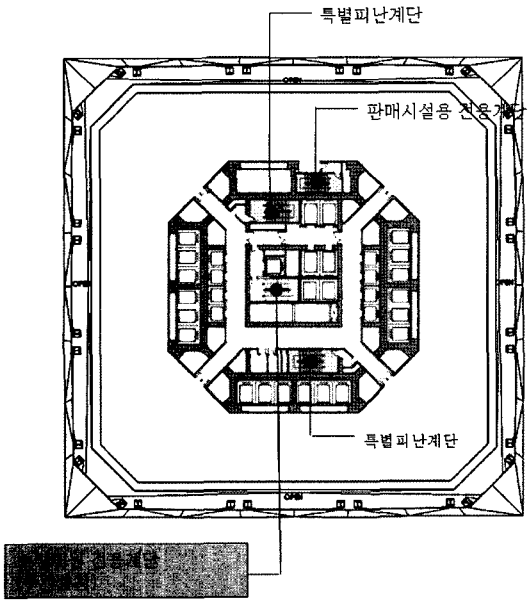


그림 2. 소방관 전용코어

3.4 연소확대 방지

3.4.1 현황 및 필요성

현행 건축법에는 수직 연소확대 방지에 대한 사항은 없으나 커튼월 구조의 빌딩들이 많이 계획되고 있는 시점에서 상층부로의 연소가 확대되는 위험성에 대하여 대처할 필요가 있다. 화재 시 빌딩 외벽 창호를 통해서 화염이 상층부로 전파되게 되는데 이러한 위험을 방지하는 대책이 마련되어 있지 않다.

따라서 상층부로의 연소확대를 방지하기 위한 대책마련이 필요하다.

3.4.2 개선방안

상층부로의 연소확대를 방지하기 위하여 아래층의 천정과 윗층의 바닥사이에 내화 또는 방화구조의 90 cm 이상 스팬드럴과 같은 구조가 필요하다.

스팬드럴의 설치가 곤란한 경우의 대안으로서는 커튼월의 유리가 강화유리로 되어 있지만 화재 시 견디지 못할 경우를 대비하여 외창 부분을 적셔 온도를 낮춰 줄 수 있는 스프링클러 헤드를 창가에 일정간격으로 배치하는 방법을 적용하여야 할 필요성이 있다.

3.5 Fail-Safe 개념의 도입

초고층 빌딩의 경우 약간의 시간지체에도 큰 피해가 발생한 우려가 크다. 화재 발생 시 계단입구의 병목현상이나 계단을 통해 내려오는 사람들과의 동선 중복으로 인해 소방관들의 진입이 어려워지거나, 너무 오랜 시간이 경과될 수 있기 때문에 초기소화설비의 신뢰성이 무엇보다 중요하다.

소방시설의 신뢰성을 확보하기 위해서는 우선 소화설비 입상배관을 2중으로 하고, 기계실 층이나 펌프 설치개소에서 배관을 분리하여 각각 독립적으로 급수할 수 있는 구성을 마련하여 한개소의 고장이나 공사시 다른 입상배관을 정상적으로 이용할 수 있도록 구성해야 한다. 또한 자동화재탐지설비 간선에서 문제가 발생했을 시 전체 시스템이 정지하는 상황이 발생하게 되므로 입상배관과 마찬가지로 2중화하는 방안을 고려할 필요가 있다.

또한 소방시설용 비상전원의 공급라인도 한 라인의 사고나 고장시를 대비하여 2중화가 필요하다.

4. 결 론

초고층 빌딩의 설계를 진행하면서 우리나라 건축법이나 소방법을 그대로 적용하기에는 다소 모순이

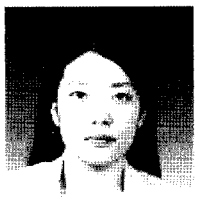
있는 부분들이 발견되었고, 초고층이라는 특수성 때문에 고려하여야 할 문제들도 알게 되었다. 개선해야할 사항으로는 연돌효과를 방지하기 위한 직통계단의 수직 분리와 승강로의 분할, 수용인원에 따른 직통계단의 규격 재정비, 배연창 적용 기준의 완화, 위험정도에 따른 소화수원 유지시간 개선 등이 필요할 것으로 생각되며, 현행법규에는 나타나 있지 않으나 필요한 시스템으로는 피난안전구역의 설치, 피난용 엘리베이터의 연구, 소방관 전용코어의 계획, 상층부로의 연소확대 방지를 위한 대책마련, 입상배관과 간선의 2중화를 통한 Fail-Safe 개념의 도입등이 있다. 또한 초고층 빌딩이 완공된 다음의 비상대응 매뉴얼의 개발도 매우 중요한 사항이다.

이 글에서의 연구결과는 아직 초보단계에 있다고 할 수 있다.

초고층 빌딩의 시공시에 나타나는 문제점 그리고 완공된 초고층 빌딩의 유지관리에서 나타나는 문제점들을 피드백하여 좀더 상세하고 구체적인 연구가 진행된다면 초고층 빌딩의 화재로 인한 인명피해 및 재산손실을 줄이는 데 많은 기여를 할 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 초고층건설기술 국제 세미나 자료 사단법인 한국건설관리학회 2001. 6. 15.
2. NFPA 101 LIFE SAFETY CODE, NFPA.
3. INTERNATIONAL BUILDING CODE, 2006.
4. 한국초고층건축포럼, 「한국 초고층의 현안과 비젼」, 2003.
5. 한국초고층건축포럼, 「한국 초고층 건축 실현화 기술과 미래」, 2004.
6. 한국초고층건축포럼, 「초고층 건축의 친환경성」, 2005.
7. 한국초고층건축포럼, 「도심재생과 초고층건축의 역할」, 2006.
8. 한국초고층건축포럼, 「초고층 건축과 도시경쟁력」, 2007.
9. 김운형, 초고층 건물의 화재안전, 방재연구, 2003.
10. 권경옥, 초고층빌딩 화재의 사례와 교훈, 방재연구 2003.
11. 백민호, 초고층 건물의 방재계획, 방재연구, 2003.
12. 황현수 외, 초고층 건물의 엘리베이터 피난대책에 관한 연구, 화재소방학회 2007.



<저 자>
윤 아 영
(주)한국방재 엔지니어링
fire0817@naver.com