

초고층 건물의 성능 설계

– 위험관리 국제 세미나 자료 중심으로 –

최근 들어 세계적으로 지역발전을 위한 랜드마크로서 초대형 건물에 대한 수요가 증가하고 있어, 이에 대한 화재 안전성 확보와 건축비용 절감을 위해 성능위주설계에 대한 관심이 고조되고 있다.

본 고에서는 지난 3월 4일 한국화재보험협회와 소방방재청이 공동 주최한 "초대형 건물의 소방기술과 보험" 이란 주제로 개최한 국제 세미나에서 발표된 원고를 중심으로 초고층 건물의 성능위주설계(PBD, Performance Based Design)를 위한 방안을 소개한다.

1. 서언

국내는 물론 해외에서도 초고층을 정의하는 명확한 기준이 없으며, 일반적인 고층 건물의 화재예방 기술과 대별되는 방안도 없다. 그러나 지상 층을 기준으로 50층 이상 또는 층고가 200m가 넘는 건물을 초고층으로 구분하는 것이 보통이다.

많은 화재 전문가들은 초고층이 갖고 있는 특수성을 고려하여 예상되는 위험을 발견하고 분석하여 대응방안을 마련하는 것이 필요하다는 것을 알고 있으며, 이에 대한 연구가 활발하게 이루어 져야 한다고 주장하고 있다. 이러한 요구에 따라 최근 성능위주설계는 초고층 건물의 안전성을 확보하는 하나의 방안으로 제시되고 있다.

국내에는 2009년 1월 1일 이후 허가 신청 건축물 중 일정 규모 이상의 건축물은 소방기술심의를 받도록 소방시설 공사업법에서 정하고 있다.

성능위주설계 대상물은 연면적 20만 제곱미터 이상(아파트 제외), 높이 100미터 이상, 지하층 포함 30층 이상, 3만 제곱미터 이상의 철도 역사와 공항시설, 영화상영관이 10개 이상인 멀티플렉스로 정하고 있다. 또한, 설계자격은 전문소방시설설계업을 등록한 자, 전문소방시설설계업 등록기준에 따른 기술인력을 갖춘 자, 소방방재청장이 정하여 고시하는 연구기관 또는 단체로 정하고 있으며 최소한 소방기술사 2인 이상을 요구하고 있다.

현재는 성능위주설계 기준 제정 전까지 국가화재안전기준 적용이 부적합한 부분에 한정하고 있으나 앞으로 성능위주 설계 시행에 관한 고시가 제정되면 보다 활성화 될 것으로 예상된다.

2. 손실제한을 위한 고층건물 설계 <연사 : Richard J. Davis>

건물의 높이가 올라갈수록 화재안전 측면에서의 다양한 난점들도 증가한다. 초고층 건물은 건물이용자의 인원수, 재산가치, 사고시 사회에 미칠 파장 등으로 인해 높은 수준의 화재안전대책이 요구된다.

2.1 직접 소화활동

소방관들이 초고층 건물의 화재를 진압하는데 겪게 되는 어려움은 다음과 같다.

- 대량의 인원이 피난로에 몰리게 되어 소방관의 진입을 지체시킨다.
- 대량의 인원이 피난하면서 피난안내 등의 보조활동이 요구된다.
- 건물 내에 수직이동은 계단실 또는 비상용 승강기로 제한된다.
- 화재진압시 사용되는 산소통의 용량에 제한이 있다.
- 사다리차의 높이를 초과하는 지점에서 화재가 외벽을 통해 확산될 가능성이 있다.
- 상층부에서는 수압확보가 제한적이다.

초고층 건물에서는 재산손실을 최소화하기 위하여 소방관에만 의존하는 것이 비현실적이다. 그러므로 건물에 높은 수준의 화재예방대책을 마련하여야 한다.

2.2 사양적 지침

가. 스프링클러 방호

초고층 건물에 설치된 스프링클러는 최상의 성능을 나타내며, 보통은 규정에 의해 설치가 요구된다. 때로는 저층부에 상점가와 같이 화재하중이 매우 높은 용도가 입주할 수 있으며 이때는 사무용 공간보다 훨씬 높은 스프링클러 살수능력을 갖도록 설계되어야 한다. 아트리움 및 아트리움과 인접한 발코니 하부에는 조기작동형 스프링클러가 설치되어야 한다.

나. 비상전원

비상전원은 다음의 용도로 필요하다.

- 비상조명
- 통신시설
- 비상용승강기
- 소방펌프

○ 제연설비

때로는 건물 사용자들이 비상전원을 업무용으로 사용하고자 하는 상황이 발생한다. 이로 인해 비상용 발전기의 작동이 빈번해지면 디젤 연료 사용이 증가하고, 그에 따른 수동적 방호 및 능동적 방호가 증가될 필요가 있다.

다. 수동적 방호

자동식 스프링클러 방호는 매우 신뢰도가 높은 방호수단이며 모든 초고층 건물에 설치되어야 한다. 여러 가지 이유로 스프링클러의 설치는 최우선의 방호수단이지만, 충분한 수동적 방호수단의 설치 또한 중요하다.

초고층 건물은 건물이용자의 인원수, 재산상가치, 사고시 사회에 미칠 파장 등으로 인해 능동적 방호(스프링클러)에 국한되지 않는 화재안전대책이 요구된다. 초고층 건물에는 일반적으로 장기간 입주하는 수많은 입주자들이 존재하며, 입주자가 바뀌면 그에 따라 가구 등과 내부마감이 바뀐다. 이 변경 공사시에 스프링클러는 일정기간 무력화될 수 있다.

요구되는 수동적 방호에는 내화성능을 갖는 바닥, 보, 트러스, 기둥, 계단실 및 승강기 샤프트, 배관 및 도선 샤프트가 포함된다. 다음은 FM Global Property Loss Prevention Data Sheet 1-3, High-Rise Buildings의 사양적 권고사항이다.

이러한 지침은 스프링클러가 전층 설치되지 않은 초고층 건물에서의 화재피해로부터 산출되었다. 스프링클러 설치가 규정되지 않았던 구시대의 건물들은 현대의 스프링클러가 완비된 초고층 건물에 비해 구조부가 일반적으로 높은 내화성능을 갖고 있었다.

2.3 친환경건물

널리 사용되는 뿔칠식 내화 코팅재는 시멘트 또는 광물섬유 재질이다. 이러한 코팅재에는 일반적으로 충전재가 포함된다. 미국과 아시아 여러 나라에서는 코팅재를 만들 때 재활용 물질을 사용하는 것이 권장되고 있다. 재활용물질의 포함 비율은 10~45%에 달한다. 어떤 물질이 사용되더라도 내화구조체에 사용되도록 또는 불연성능 측면에서 시험되고 등록되어야 한다.

2.4 화재로 인한 다층건물의 붕괴 사례

화재로 인한 다층건물의 붕괴는 몇가지 사례가 존재한다. 2002년 미국의 NIST는 세계무역센터의 붕괴에 대한 연구에 착수하였다. 쌍둥이 빌딩 이외에 주변에는 화재로 인하여 붕괴한 다른 고층건물들이 존재하였다. 그 이후에는 2005년 스페인, 2008년 네덜란드에서 붕괴사례가 보고되었다.

2.5 구조부의 화재방호

세계무역센터 붕괴에 대한 NIST의 보고서는 매우 상세하며, 건물구조부의 내화성능을 향상시키고 내화성능 설계의 새로운 방법을 포함하는 다수의 권고사항을 제시하였다. 그중 권고사항 4번은 20층 이상의 초고층 건물의 내화성능을 향상시키는 방법을 제안하였다. 지난 10년간 IBC에서는 55m 이상, NFPA 5000에선 128m 이상의 초고층 건물에서 한 개 층 이상을 지지하는 기둥, 내력벽, 보, 거더, 트러스 및 아치의 내화성능은 실질적으로 2~3시간으로 증가되었다.

권고사항 4번은 비정상적으로 높은 화재하중을 갖는 공간의 영향에 대한 연구가 필요함을 제시하였다. 미국 내에서 최근 가장 중요한 변화는 초고층 건물 내의 일부공간에서 수동적 방호를 무력화할 정도의 화재하중이 발견된다는 점이다. 건물내 디젤연료의 보관량 제한(2500 ℓ)이 사라졌다. 이러한 양은 건물의 비상조명등의 용도를 충족하기 위한 양이다. 현재는 건물의 비상용도 뿐만 아니라 일상용도까지 충족할 수 있는 비상전원을 갖추기 위해 수만 ℓ의 디젤연료를 보관한다. 이러한 연료는 종종 상층부의 발전기실에 보관된다.

권고사항 5번은 내화성능 시험의 개선 및 시험결과의 외삽에 관한 내용이다. 실제 보와 화로에 들어가는 시험체의 길이가 다르기 때문에 발생하는 사항이다. NIST의 추가 보고서에 따르면 트러스 시험체의 길이는 5.2m로 제한되는데 실제 트러스는 11m에 달하는데, 트러스의 팽창은 길이에 비례하므로 실제 트러스의 성능이 현저하게 떨어지는 것으로 나타나고 있다. 실제 크기 트러스를 시험하는 것이 불가능하다해도, 시험체를 사용한 시험의 결과는 실제상황에 적용할 수 없으므로 시험결과와 실제 내화성능의 관계를 규명하는 것이 필요하다고 권고한다.

또한, 상대적으로 작은 화로에서는 구조부에 대한 화재의 영향을 적절하게 측정하기 어렵다. 화재 시에는 내화피복이 존재함에도 불구하고 상당한 팽창이 발생하고, 팽창은 길이에 비례한다. 기둥 및 보의 연결부는 이러한 팽창을 수용하고 팽창에 따른 수평인장력 및 뒤틀림을 견딜 수 있도록 설계되어야 한다.

또다른 NIST 보고서의 권고사항은 내화피복의 내구성 및 내충격성을 증가시키도록 요구하였다.

2.6 외벽구조

화염과 고온의 가스는 대략 창문높이의 2/3지점에서 분출될 것이고 그 아래에서는 공기가 유입된다. 분출되는 화염은 바로 윗층의 창문에 도달할 가능성이 있다. 창문이 클수록 화염이 바로 윗층의 창문에 도달하여 창문을 깨뜨리고 층내의 가연물을 발화시킬 가능성이 높아진다. 창문의 세로길이를 제한함으로써 외벽을 통한 화재(특히 플래시오버 화재)의 확산가능성을 줄일 수 있다. 이러한 개념이 건물소유주들에게 익숙치는 않을 것이며, 일부 초고층 건물 및 중요도 높은 건물이나 고가의 건물에 적용되는 개념이다.

강화유리(내열처리)는 일반 유리에 비해 화재로 인한 파열이 발생하기 까지 높은 열플럭스를 견딘다. 강화유리는 또한 소방관의 판단에 의해 연기를 제거하기 위해 파괴될 때도 안전하게 파괴된다. 강화유리는 파괴될 때도 소방관 및 소방호스의 파손이 발생하지 않는다.

NRCC의 보고서에 따르면 폭이 0.9~1.2m인 발코니의 존재 또한 화재의 수직확산을 예방한다. 화염의 길이가 동일한 조건에서는 발코니가 화염을 분산시키며 상층부의 벽체 및 창문에 전달되는 열을 감소시킨다.

2.7 불연성 단열재

외벽구조 내에 가연성 단열재가 존재한다면 화재의 연료로서 작용할 가능성이 있으며 분출화염의 크기를 확대시키고 화재의 수직확산을 용이하게 한다.

2.8 관통부 마감 및 스펀드럴 방호

관통부는 화재의 층간 수직확산을 막기 위해 반드시 마감되어야 한다.<후략>

2.9 제연설비

제연설비의 사용과 계단실 가압설비의 사용은 인명안전, 재산보호, 소방관보호를 모두 달성하면서 소방관의 소화활동이 잘 작용할 수 있도록 하는 효과를 얻을 수 있다.

2.10 성능위주설계

초고층건물의 설계시 PBD는 특히 피난에 관해서 귀중한 수단이 된다. 설계를 위한 적절한 가정이 설계되어야 하며, 각 시나리오는 해당하는 사양규정이 존재한다면 그 사양규정을 초과하여 만족시켜야 한다. 건물의 이해관계자들이 모두 설계목적에 동의하는 절차가 있어야 한다. 이해관계자들에는 소유주, 관할기관 또는 점검기관 및 보험사가 있다.

PBD는 일반적으로 다수의 설계 시나리오를 사용한다.

건물의 소유주와 설계자는 향후 건물의 용도가 변경되거나 구조가 변경되는 상황이 발생할 경우 설계 시나리오에 미치는 영향을 분석하여 미래에 발생할 수 있는 비용지출을 감소시켜야 한다. 설계 시나리오가 충분히 보수적이지 않다면 보험사의 인수규모를 제한할 수 있다.

건물의 변경은 설계기준을 변화시키지 않는 범위 내에서 이뤄져야 한다.

3. 대만 Taipei 101 성능설계 사례

<연사 : Tsu-Sheng Shen>

Taipei 101은 타이페이시내에서 가장 유명한 고층건물구역인 Hsin-Yi 지역에 위치한다. 대지면적은 30,277m², 건물부지면적은 15,138m²이며 건물연면적은 37,000m²에 달한다. 이 건물은 두 개의 큰 부분으로 구성된다. 높이 508m의 타워는 사무실 용도로 사용되고, 포디움 부분은 쇼핑몰로서 다수의 상점이 입점하고 있다. PBD는 포디움의 4층 Social Communication Plaza에 적용되었다. Taipei 101이 개장한 이후 일정기간이 지난 시점에 공간을 효율적으로 사용하고 업무상 요구사항들을 만족시키기 위하여 PBD를 적용하였다. 여기에는 연기배출구의 간격을 증가시키는 것, 일부 계단실을 제거하는 것, 제연경계의 설치를 면제하는 것이 포함되었다. 연기배출구의 간격을 증가시키고 제연경계의 수를 줄이는 것은 대만의 화재안전규정을 위반하는 것이다; 대만의 화재안전규정은 제연구역내의 모든 지점에서 연기배출구까지의 거리를 30m 이하로 제한하고 있으며, 제연구역의 크기를 500m²로 제한하고 있다. 또한 계단실의 숫자를 줄이는 것도 대만의 화재안전규정을 위반하는 것이다; 대만의 건물규정은 상업구역에서는 최대면적층을 기준으로 100m²당 60cm의 계단폭을 갖도록 하고 있으며, 사무실용도에서는 계단까지의 보행거리를 30m 이하로 제한하고 있다.

3.1 방법론과 인명안전조건

배경에서 언급한 화재안전규정 및 건물규정에서 지정된 조건을 위반하면서도 안전을 보장하여야 한다.

Social Communication Plaza에 상주하는 모든 인원이 화재와 연기로부터 안전하게 피난할 수 있는 충분한 시간을 갖도록 하는 것이다.

가. 평가수단

연기층이 바닥으로부터 1.8m까지 내려오는 시간을 예측하였으며 이 값을 거주자들이 안전한 장소로 피난하는 데 걸리는 시간과 비교하였다. 연기유동의 움직임은 FDS 4.0으로 시뮬레이션하였으며 연기층의 높이는 NFPA 92B의 정의를 사용하였다.

나. 좌표 설정

수치의 정확성을 훼손시키지 않으면서 계산의 효율성을 높이기 위해 다수의 좌표계가 사용되었다. 좌표의 기본단위 셀은 가로, 세로 90m인 정사각형으로 설정되었고 셀의 수직방향 높이는 65.1m로 설정되었다. 그리하여 설정된 셀의 숫자는 4,374,000개였다.

다. 피난 안전 조건

거주자의 안전과 관련된 중요 요소에는 CO, CO₂와 같은 독성가스농도, 공기의 온도, 열 방출률 및 가시도 등이 있다.

피난이 진행되는 동안 바닥으로부터 1.8m 이하의 지점에는 피난 안전 조건 이상의 생존 조건이 유지되어야 한다.

생존조건	최소조건
대류에 의한 열	가스의 온도가 65°C 이하일 것 (이 조건에 30분 노출시 정상행동불능)
연기에 의한 시야장애	가시거리가 10m 이상을 유지할 것
독성	CO ≤ 1400ppm CO ₂ ≤ 5% HCN ≤ 80ppm O ₂ ≤ 12% (이 조건에 30분 노출시 정상행동불능)
복사에 의한 열	연기층에서 복사되는 열량 ≤ 2.5kW/m ²

3.2 설계화재 시나리오

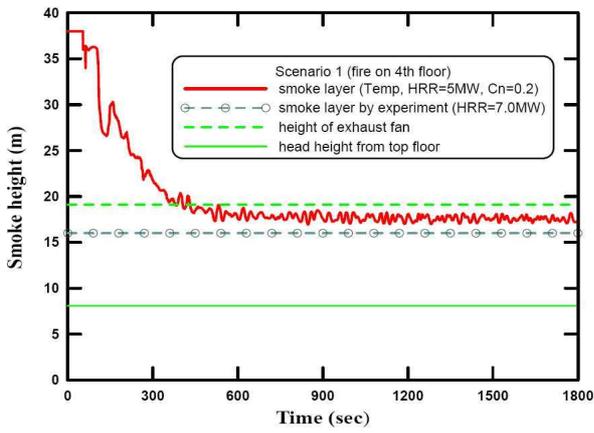
Taipei 101의 포디움 부분에서 발생할 수 있는 3가지 화재시나리오가 작성되었다. Plaza에는 대량의 가연물이 존재하지 않았으므로 대공간의 3가지 다른 지점에서 방화로 인한 화재가 발생하였음을 가정하였다. 설계화재는 5MW의 초고속성장 화재로 가정하였다. 화재설정 위치는 다음과 같다.

시나리오	화재 위치
1	4층 Plaza 중앙부
2	1층의 Plaza 복도
3	4층 Plaza의 북동쪽 코너

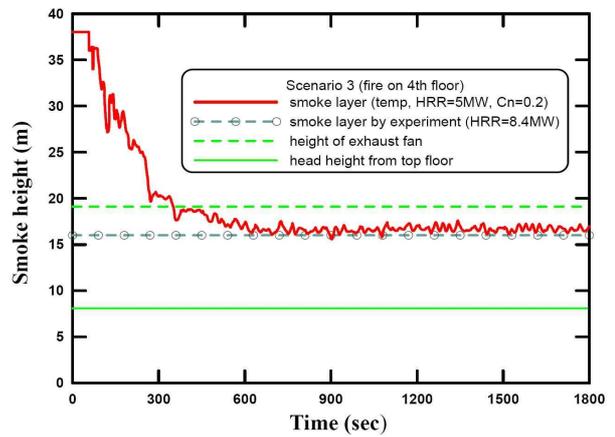
3.3 실제크기 화재시험

대만의 국가소방청은 이 프로젝트에 대하여 실제크기 화재시험을 실시하여 연기층의 실제 움직임을 재현하고 경보설비 및 방화셔터, 제연설비 등의 작동을 확인할 것을 요구하였다. 이 시험에 관계된 정보는 아래 표에 나타나 있다. 각 시나리오 별로 시간에 따른 연기층의 높이는 [그림 1]~[그림 3]에 나타나 있다.

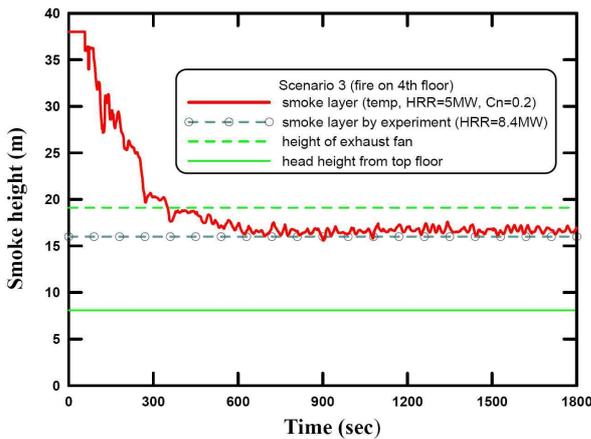
시나리오	화재 위치	열방출률 ΔH_c (CH ₃ OH)=0.0199 MJ/g	연기층 높이
1	4층 Plaza 중앙부	$HRR=5.0(\text{g/sec}) \times 0.0199 \times 70 \approx 7.0\text{MW}$	16m
2	1층의 Plaza 복도	$HRR=4.5(\text{g/sec}) \times 0.0199 \times 70 \approx 6.3\text{MW}$	13m
3	4층 Plaza의 북동쪽 코너	$HRR=6.0(\text{g/sec}) \times 0.0199 \times 70 \approx 8.4\text{MW}$	16m



[그림 1] 시나리오1의 연기층 높이



[그림 2] 시나리오2의 연기층 높이



[그림 3] 시나리오3의 연기층 높이

3.4 결과 및 토의

가. 연기층 높이 계산

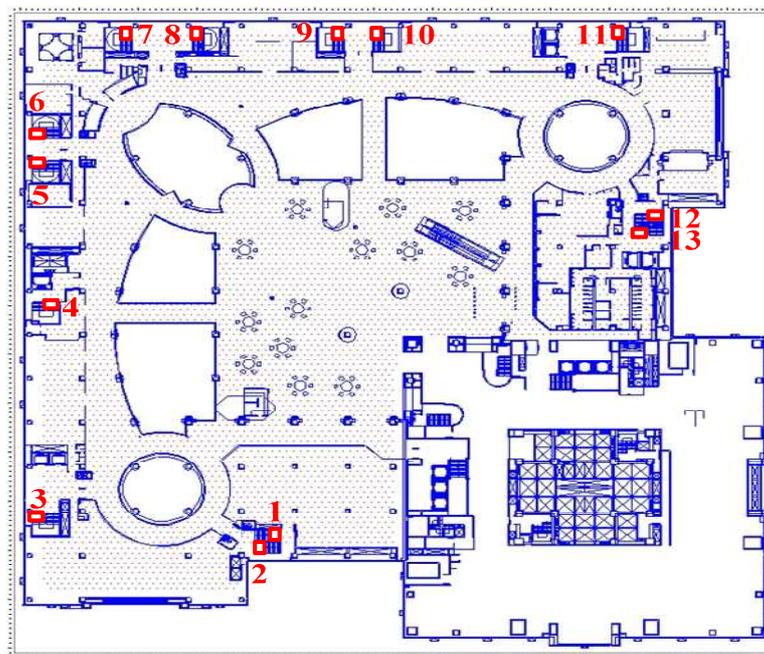
각 시나리오의 연기층의 높이 변화가 그림1~3에 나타나 있다. 그림에서 X축은 시간, Y축은 천장으로부터의 연기두께를 나타낸다. 붉은 선은 NFPA 92B의 식에서 $C_n=0.2$ 로 계산된

연기층 높이를 나타낸다. 녹색선은 4층의 거주자의 머리 높이를 나타낸다. 그림에는 실제 화재시험의 결과도 표시되어 있는데, 항상 4층의 거주자의 머리높이 보다는 높게 나타났다.

나. 피난시간계산

피난시간계산에서는 피난 평가시 가장 널리 사용되는 SIMULEX가 사용되었다. 또한, 4층의 Social Communication Plaza는 SIMULEX를 적용하는 일반적인 대형공간이기도 하다. 시설의 크기를 고려하여 Plaza에 거주하는 인원을 5000명으로 설정하였다. 피난계획은 [그림 4]에 나타나 있다. 피난시간계산결과는 다음과 같다

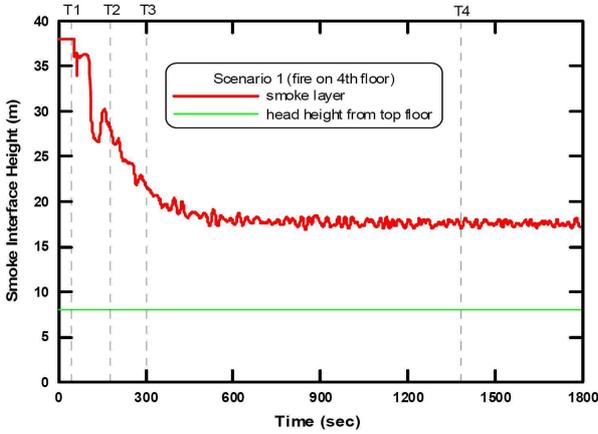
시나리오	이동시간	피난시간
1	720초	1380초
2	705초	1358초
3	720초	1380초



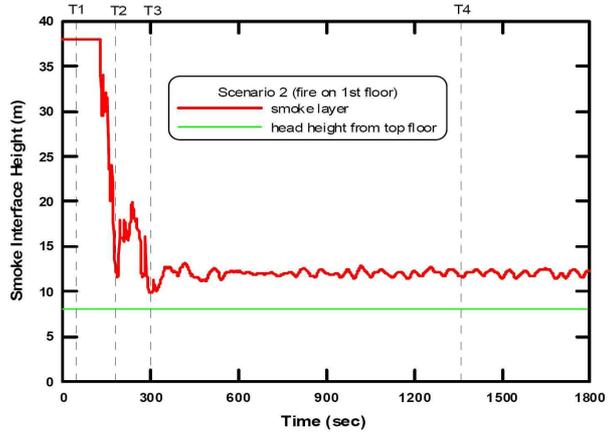
[그림 4] Plaza의 피난계획

다. 연기층 높이와 피난시간의 평가

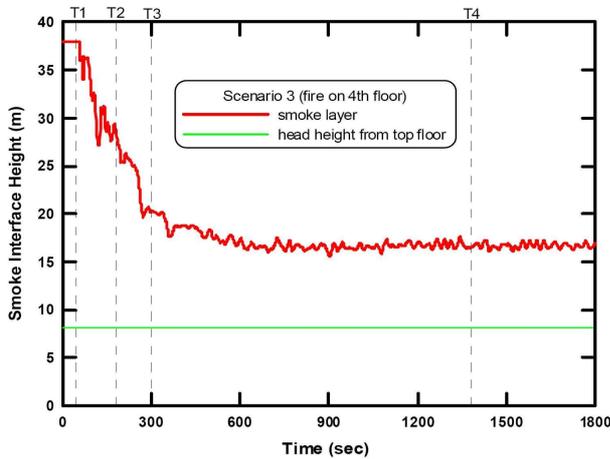
[그림5]~[그림7]에서 연기층높이는 시간, 인명안전조건, 최종 피난시간(T4 점선) 별로 각 시나리오에 따라 평가될 수 있다. 이 표에서, T1은 화재신호가 접수된 시점을 나타낸다. T2는 배연 팬이 가동을 시작한 시간, T3은 거주자들이 피난을 시작한 시간이다. 3가지 시나리오 모두를 평가해본 결과, 피난기간동안 생존조건이 모두 유지됨을 확인하였다.



[그림 5] 시나리오1의 피난시간과 연기층 높이



[그림 6] 시나리오2의 피난시간과 연기층 높이



[그림 7] 시나리오3의 피난시간과 연기층 높이

3.4 결론

대만에서 소방기술의 성능위주설계는 현재까지 100건이 넘게 수행되었음에도 아직 기초 단계이다. 그러므로 더욱 구체적인 연구와 실제크기 연소시험이 수행될 필요성이 있다. Taipei 101 프로젝트는 대만의 초고층, 초대형 건물의 사례를 대표하며 중요한 사례로서 기록될 것이다.

4. 단일계단실 고층아파트의 성능설계

<연사 : Kiyoshi Fukui>

4.1 건물 설계 및 배치 개념

가. 건물 설계 개념

이 건물은 시내에 위치한 20층의 아파트 건물이다. 이 건물은 지하1층 주차장과 지상 20

층의 사무실 및 5개의 3층단위 아파트블록으로 구성되어 있다. 총 가구수는 119가구 이다. 최상층에는 구획된 기계실이 존재하며 옥상에는 헬리콥터 착륙장이 비상시를 대비하여 설치되어 있다.

한 개의 아파트블록은 3층으로 이루어진다. 각각의 아파트블록이 커뮤니티를 이루도록 의도되었다. 하나의 아파트블록에는 18가구가 입주한다. 3개층의 공동구역이 아트리움으로서 3개층을 연결하고 여기에는 나선형계단이 설치되어 있다. 거주자들은 공동구역을 통해 이웃과 교류할 수 있다. 라운지는 연속적인 발코니로 둘러싸여 있으며, 피난시 피난안전구역으로서 사용된다.

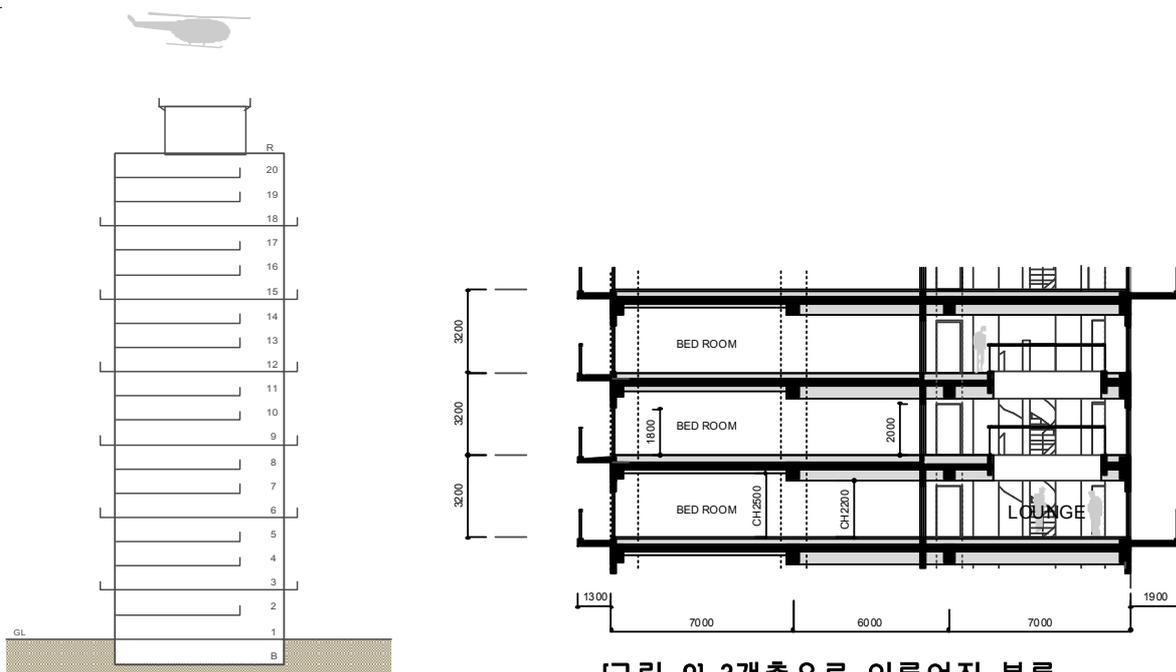
각 가구는 공동구역의 아트리움으로 연결되어 있고 여기서 두 대의 승강기와 한 개의 계단실로 이어진다. 화재시에는 이 계단실이 주요 피난수단이다.

편안하고 안전한 생활을 위해, 각 가구는 이중 바닥과 방음벽으로 분리되어 있다.

나. 안전계획의 과제

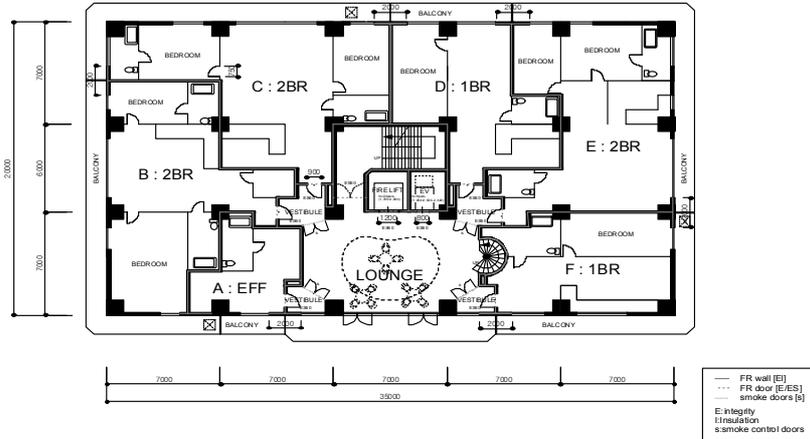
- 화재확산방지
- 공동구역의 화재안전
- 장애인 및 노약자의 화재안전
- 단일계단실의 안전

다. 도면



[그림 8] 건물 측면도

[그림 9] 3개층으로 이루어진 블록



[그림 10] 3개층으로 이루어진 블록의 라운지층 평면도

4.2 화재안전전략

가. 기본 원칙

관할기관으로부터 지정받은 화재 및 인명안전 목표는 다음과 같다.

- 1) 화재시 거주자가 안전한 장소로 부상없이 이동할 수 있도록 보호
- 2) 소방관들이 구조작업 또는 소화활동시 안전하도록 보호
- 3) 건물에 단일 계단실 제공

나. 화재안전전략

○ 화재확산방지

하나의 아파트블록은 다른 블록에서 발생한 화재로부터 격리되어야 한다. 블록 중에 라운지 층은 연속적인 발코니로 완전히 둘러싸여져야 한다.

○ 공동구역의 화재안전

공동구역에 들어온 피난자들은 제연설비에 의해 연기로부터 보호된다.

○ 장애인 및 노약자의 화재안전

같은 블록내의 거주자들은 공동구역을 통하여 서로 교류하게 된다. 그러므로 장애인 및 노약자는 이웃에 의해 파악되며 구조된다.

○ 단일 계단실의 안전

계단폭은 1.5m로 하여 피난자들과 소방관이 엇갈릴 때 마찰이 없도록 해야 한다. 각 블록의 공동구역은 임시 피난안전구역으로서 피난자들이 잠시 머무를 수 있도록 설계되었다. 그러므로 단일 계단실로도 계단이 지나치게 붐비는 것을 방지한다.

4.3 피난전략

가. 고층건물의 안전한 피난을 위한 과제

- 단일계단실 : 피난로와 소화활동 진입로가 겹치며 마찰을 일으킬 가능성이 존재한다.
- 수직 피난 : 휠체어로 이동해야 하는 사람들은 계단실로 이동이 어려움
- 화재인지지연 : 수면중인 거주자는 매우 늦게 피난을 시작하게 됨

나. 피난안전설계 목적

- 거주자는 화염 및 연기로부터 피해를 입지 않고 안전한 구역으로 피난할 수 있어야 한다.
- 장애가 있는 거주자는 안전한 구역에 도달할 때까지 보호되어야 한다.
- 피난하는 인원을 최소화시켜 피난시 혼란을 감소시킨다.
- 소방관과의 피난자의 마찰은 최소화되어야 한다.

다. 항목 및 기준의 검증

- 안전한 피난을 위한 피난안전구역
- 피난시 소방대와의 마찰
- 피난자에 대한 연기의 영향

라. 피난계획

(1) 계획

- 노약자와 휠체어 이용자가 고려되었으며, 건물전체가 동시에 피난하는 상황을 피하도록 하였다.
- 공동구역을 활용하도록 블록단위 피난을 적용하였다.
- 공동구역의 가장 낮은 층이 안전한 장소이다.
- 발코니는 층별로 존재하며, 화재시 피난경로로서 피난시 대기장소로 사용이 가능하다.
- 건물전체가 동시에 피난할 필요가 있는 경우 소방용 승강기의 사용이 고려된다.
- 휠체어 이용자 등 행동에 제약이 따르는 사람들은 정상인들에 의한 도움을 받아야 한다.
- 장애인들이 각 층에 도착할 때마다 쉴 수 있는 공간이 제공된다.
- 소방대와 피난자의 마찰을 피하도록 계단폭이 충분히 넓어야 한다.

(2) 화재시나리오

번호	화재			피난	피난로	안전장소		
	발생시간	장소	연기 및 열확산			피난안전구역	최종피난	
1-1	낮 (6am-10pm)	거주공간 (6F)	거주공간	6,7,8F	계단실	공동구역 라운지 (6F)		
1-2	밤 (10pm-6am)							
2-1	낮		거주공간으로부터 공동구역 아트리움	9,10,11F 6,7,8F 3,4,5F		계단실	9-11F -> 공동구역 라운지 (9F) 3-8F -> 공동구역 라운지 (3F)	
2-2	밤							
3-1	낮		화재확산	전층		계단실, EV	-	지상층
3-2	밤						공동구역 라운지 (3,9,12,15,18F)	지상층
3-3	낮	공동구역 라운지 (6F)			공동구역 아트리움	계단실	9-11F -> 공동구역 라운지 (9F) 3-8F -> 공동구역 라운지 (3F)	
3-4	밤							
4-1	낮	공동구역 라운지 (6F)	공동구역 아트리움	9,10,11F 6,7,8F 3,4,5F	계단실	9-11F -> 공동구역 라운지 (9F) 3-8F -> 공동구역 라운지 (3F)		
4-2	밤							
5-1	낮		화재확산	전층	계단실, EV	-	지상층	
5-2	밤					공동구역 라운지 (3,9,12,15,18F)	지상층	
5-3	낮	계단실, EV			공동구역 라운지 (3,9,12,15,18F)	계단실, EV	공동구역 라운지 (3,9,12,15,18F)	
5-4	밤							

마. 결과

피난시나리오 평가 결과 1-1과 1-2가 가장 유력한 화재 시나리오로 결정되었다.

- 공동구역 라운지는 충분한 넓이인 것으로 판정되었다.
- 평가된 예상 피난시간은 소방대와의 마찰이 없을 정도로 나타났다.
- 거주공간에서 발생한 연기가 빠져나오지 않았으므로 피난자들은 연기에 영향을 받지 않았다.

4.4 제연설비 설계

가. 기본원칙

제연설비를 위해서는 3단계 위험수준을 가정하였고(위험Level1~3) 그에 따라 목표를 설정하였다.

화재실	연기확산구역		제연설비 설계
거주공간	위험Level1	거주공간, 전실	아트리움과 샤프트는 연기로부터 보호될 것
거주공간, 라운지	위험Level2	아트리움	연기가 위험농도 이하로 희석될 것 샤프트는 연기로부터 보호될 것
	위험Level3	계단실, 비상승강기, 승강기샤프트	제연설비는 위험Level이 3단계까지 도달하지 않도록 설계되어야 한다.

나. 제연설비의 선택

제연설비의 선택시 화재는 거주공간에서 발생하는 것으로 가정한다. 거주공간이 화재하중이 높고 화재가 시작될 가능성이 높기 때문이다.

(1) 제연설비

가) Case 1

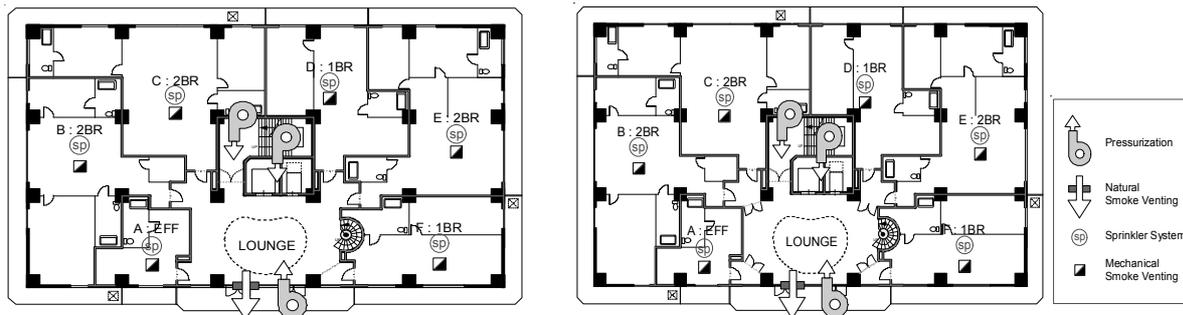
Case 1은 [그림 11(a)]와 같이 전실이 없는 상태이다. 스프링클러와 거실제연설비가 거주공간에 설치되어 있다. 공동구역의 아트리움, 계단실, 소방용 승강기 샤프트, 승강기 샤프트에는 가압된다. 그리고 공동구역의 아트리움은 자연배기방식으로 연기를 배출한다.

나) Case 2

Case 2는 [그림 11(b)]와 같으며, 각 거주공간과 공동구역 사이에 전실이 설치된 것을 제외하면 Case 1과 같다.

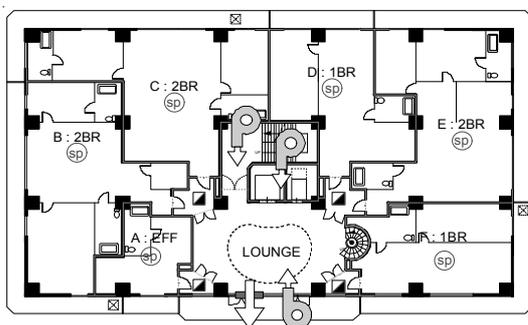
다) Case 3

Case 3은 [그림 11(c)]와 같으며, 전실에 기계적 연기배출이 되도록 한 것을 제외하면 Case 2와 같다.



[그림 11(a)] Case 1

[그림 11(b)] Case 2



[그림 11(c)] Case 3

(2) Event Tree 분석

각각의 경우에 대하여 Event tree 분석을 실시하였다. 거주자 또는 소방관에 의해 소화되는 상황은 고려하지 않았으며, Event tree 분석에서 사용한 조건과 위험Level조건은 다음과 같다.

가) Event tree 분석 조건

- 전실에는 아무것도 없으므로, 전실문은 항상 닫혀있는 것으로 가정한다.
- 배출되는 연기의 온도가 280℃이상인 경우 기계적 배연은 작동하지 않는다.(덕트를 통한 화재확산을 방지하기 위해 연기배출이 중단될 것이기 때문이다.)
- 공동구역의 아트리움 및 계단실에 대한 가압이 작동하지 않으며, 소방관이 자연배기가 필요하다고 판단할 때, 자연배기 방식의 연기배출이 수동으로 작동한다.

나) 위험Level 조건

- 기계적 배연설비가 작동하고 공동구역의 아트리움 또는 계단실에 대한 가압설비가 작동하는 경우에는 위험Level 1에 해당한다.
- 기계적 배연설비가 작동하지 않고 공동구역의 아트리움 또는 계단실에 대한 가압설비가 작동하는 경우에는 위험Level 2에 해당한다.
- 공동구역의 아트리움과 계단실에 대한 가압설비가 모두 작동하지 않는 경우에는 위험Level 3에 해당한다.

(3) 결과

각 설비의 신뢰도에 따라 각 Case에 따른 위험Level 도달 가능성은 다음과 같이 평가되었다. 평가 결과 Level 2와 Level 3에 도달할 확률이 가장 낮은 Case 3가 제연설비로서 결정되었다.

구분	Level 1	Level 2	Level 3
Case 1	0.85	0.13	0.025
Case 2	0.85	0.14	0.010
Case 3	0.88	0.11	0.010

설비	신뢰도
스프링클러설비	0.95
기계적 연기배출	0.9
자연적 연기배출	1
가압설비	0.9
거주공간 입구의 방연문	0.7
전실의 방연문	1

5. 결론

화재방호를 위한 성능위주설계 방법은 기존의 법규적 방법에 비해 새로운 기술을 사용하게 된다. 특히 컴퓨터모델링을 이용한 방법을 사용하게 되면 실물화재와 유사한 결과를 얻을 수 있게 되어 설계에 많은 도움을 받을 수 있다. 그러나 다양한 화재 현장을 모두 반영하는 것이 어려우며 이로 인해 상당한 오류가 발생할 수 있다. 또한, 발생한 오류를 검증하기 쉽지 않아 경험이 풍부한 전문가의 확인 작업이 필요하게 된다.

한편 성능위주설계를 위해서 필요한 많은 실험적 자료가 턱 없이 부족한 상황이어어서 이에 대한 연구가 필요하다. 자료를 효율적으로 얻기 위해서는 관련 기관이 분야를 나누어 체계적으로 연구하는 방안도 필요할 것이다.

또한, 설계비용과 검토비용 등의 효과를 얻기 위해 건축주의 무리한 요구를 수용하거나 용도변경에 따른 후속조치를 어떻게 해야 할 것인가에 대한 방안 마련도 필요하다.

이와 같이 성능위주설계를 수행하기 위해서 해결하여야 할 사항이 많으나 법규적 방법을 보완하고 화재방호를 위한 새로운 기술을 적용하기 위한 성능위주설계의 중요성은 점차 확산되고 있다. 특히 우리나라는 150층 규모의 용산 드림타워 등 현재까지 계획된 100층 이상 초고층 건축 프로젝트만 8개에 달하고 있어 이에 대한 대책마련이 시급하며, 국내외에 건설할 초고층·초대형 건물의 안전성을 효율적으로 확보하기 위해서 지속적인 연구와 투자가 필요하다.

출처 : 국제세미나 『초대형 건물의 방재기술과 보험』 (2009.3.4)

정리 : 조사연구팀 안승일