

고층건물 : 우리는 무엇을 해야 하는가?

- NIST의 고층건물 화재안전을 위한 권장사항

2001년 9월 11일의 세계무역센터 사건은 고층건물에 대한 세계의 관심을 집중시켰다. 그때 이후로 고층건물 화재안전에 대한 세계의 관심을 가지도록 한 몇 가지 다른 사건들이 있었는데, 바로 마드리드와 베네수엘라, 그리고 시카고에서의 두 건물의 화재사건이다.

미국과 전 세계의 주요한 코드 작업그룹은 고층건물의 안전을 심각하게 살펴보기 시작하였으며, 또한 현재의 코드들은 충분한지에 대한 여부에 의문을 가지기 시작하였다. 미국 정부는 국가표준기술연구원(NIST)으로 하여금 고층건물의 안전을 평가하기 위하여 중요한 연구를 수행 중이다.

이 글에서는 최근 일어난 몇몇 화재사건을 고찰하고 얻어진 교훈을 평가하며, 고층건물 안전설계시 현재 고려되고 있는 권장사항을 논의하고, 화재안전 설계와 고층구조를 고찰하기 위한 몇 가지 방법을 제시하고자 한다. 세계무역센터에 대한 여러 논의 내용이 들어 있지만, 이 글의 목적은 다른 화재사건과 그 반향을 다루기 위함이지, 세계무역센터나 9.11 사건을 자세하게 다루려는 것이 아니다. 저자(*James R. Quiter*)는 NFPA 고층건물 안전전문위원회의 의장직과 NFPA 인명기술안전위원회의 의장직을 맡고 있으며, 또한 세계공학회사의 사장이지만 이 글에서 표현된 견해들은 저자의 견해일 뿐, 앞서 언급한 조직들의 공식적인 견해는 아니라는 점을 밝혀둔다.

□ 고층건물 - 몇 가지 역사

1970년대 이전 미국에서는 고층건물에 대한 국가 코드에 특별한 기준이 없었다. 1970년대 초, Uniform Building Code와 Standard Building Code, Basic Building Code(현재 International Building Code로 통합됨)가 고층건물에 대한 조항을 개발하였다. NFPA 인명안전코드(NFPA 101)도 이런 조항을 가지고 있는데 1988년 개정판에 추가된 것이다.

미국에서는 사용하는 층이 사다리소방차가 정차 가능한 층보다도 23m 이상 높을 때 고층건물 조항이 대체로 적용된다. 미국의 몇몇 관할기관은 이 제한치를 17m로 개정하였고, 11m로 낮춘 경우도 있다.

고층건물 조항의 원래 목적은 외부로부터의 구출이 용이하지 않은 건물의 더 나은 방호를 위해서였다. 그 당시 23m는 고가사다리가 닿을 수 있는 최대 높이라 판단되었다. 그래서 외부로부터 구출이 어려운 거주자들에게 더 나은 방호수단이 요구되었다. 고층건물의 다른 특징들, 즉 굴뚝효과와 피난지연 같은 문제들이 주요인으로 인식된 반면 높이 제한은 이러한 사다리 길이의 개념에 근거하였다.

고층건물 관련 조항은 자동식스프링클러설비, 유무선통신장치, 급배기장치가 있는 계단, 비상전원 등에 대한 요구사항을 포함하여 점점 발전되었으며, 또한 많은 곳에서 연기제어가 필요하였다. 제연에 관한 조항은 고층건물에 대한 코드가 개정됨에 따라 포함되기도 하고 제외되기도 하였다.

세계의 여러 국가에서도 고층건물에 관한 많은 코드가 다루어지고 있는데, 여러 코드가 약 23m에서 최저 높이를 적용하고 있으며, 유사한 조항들이 그러한 국가에서 적용되고 있다. 다른 나라들이 좀 더 제한하는 영역은 소방용 승강기의 수와 위치, 피난계단의 수와 폭 및 이동 거리, 방화구획 요구사항, 그리고 건물의 내화구조에 있다. 아시아 일부 국가에서는 어떤 높이(15층~30층) 이상의 건물은 하나 이상의 개방된 피난층을 요구한다.

최근 몇 년간 미국에서 점차 언급되기 시작한 두 영역이 있다. 첫 번째는 빌딩코드는 통상적으로 새 건물에 적용되기 때문에, 아직 신규 빌딩코드 요구사항이 적용되지 않는 기존 건물이 많은 오래된 도시의 경우이다. 스프링클러설비 규정은 주로 지역별로 재난이 발생한 후에 많은 미국 내 도시에서 개정되어 적용되어졌다. 이렇게 개정된 법들은 그들이 필요로 하는 방호수준과 그 방호설비가 적용되는 건물의 형태(즉 사무실, 호텔, 아파트, 콘도미니움), 또는 설비보완을 완성할 수 있는 시기에 부합되지 않는다. NFPA 인명안전코드는 자동식스프링클러설비의 설치가 필요한 기존 고층 건물의 형태를 점차 추가 하였으나, 심지어 코드가 적용되어진 장소에서조차 코드의 강제력은 산발적이었다. 그래서 미국 사람들은 특히 도시에서 도시로 여행을 할 때 고층건물에서 사용가능한 방호수준을 알기가 쉽지 않다.

두 번째는 최근에 일어나고 있는 일련의 코드 개정이다. 건물이 높아지면 추가적인 방호조치가 필요하다. 7층 내지 10층 건물로 걸어 들어갈 때 고층 건물이라 생각하는 사람은 거의 없다. 하지만 이 건물들의 통상적으로 필요한 방호수준은 중심가의 50층 내지 100층짜리 건물과 같다. 지역소방대 장비와 건물로의 접근성 등에 따라 다르겠지만, 두 건물의 유사점은 23m 이상에서의 외부구출이 어렵다는 점이다. 그러나 연기이동, 건물전체 동시피난과 단계적 피난의 실행 가능성, 그리고 거주자와 소방대에 의해 요구되는 정보의 수준이 초고층 건물에서는 분명히 다르다. 이러한 생각들이 대개 기술적인 분석이나 위험도평가도 거의 없이 단편적인 방법으로 코드에서 다루어지기 시작하고 있다.

□ 최근의 사건들

시카고에서는 지난 3년간 2건의 주요 화재가 있었는데, 첫 번째는 서위싱턴 69번지에서 발생하였다. 이 화재는 스프링클러설비가 없는 12층의 창고에서 처음 시작되었다. 화재는 발화장소에서부터 불이 난 방들을 따라 확대되었으며, 복도벽이 구획되지 않아서 뜨거운 연기와 가스가 복도로 유입되었다. 부속실에 접한 계단실은 화재발생 장소로부터 복도를 가로질러 직접 연결되어 있었고, 소방대가 출동해서 계단실로 나가는 복도문을 열었을 때 고온의 연기와 가스가 계단실로 흘러들었다. 이 건물은 보안을 위해 복도를 향한 계단실 쪽의 문들이 잠겨져 있었고 어떤 원격 잠금 해제나 자동 조작이 불가능 했었다. 6명이 계

단실에서 죽었는데 그들 모두는 12층 이상에 갇혀진 사람들이었고, 이들이 이 사건에서의 유일한 희생자들이었다. 화재 후 조사에서 계단실 문이 잠겨 있지 않았다면 희생자는 없었을 것이라고 결론이 내려졌다. 그리고 만약 스프링클러설비가 있었다면 연기와 가스가 그만큼 뜨겁게 많이 발생하지는 않았을 것이며 스프링클러설비로 인해 희생자들을 막을 수 있었을 것이다. 이 화재사건에서 어떤 교훈을 얻었는가? 아마도 이미 알고 있는 지식이 적용되어야 할 것이다. 스프링클러설비는 건물의 안전성을 상당히 증대시켜주고, 계단실 안쪽의 잠금은 위험을 야기시킨다.

두 번째 시카고의 화재사건은 좀 더 결과가 나왔다. 그것은 스프링클러설비가 없는 고층건물에서의 화재였다. 이 건물은 작동가능한 배연창이 있었고 몇몇의 거주자들은 배연창을 통해 신선한 공기를 마실 수 있었다. 이 화재에서 희생자는 없었다. 이 화재는 앞의 서위싱턴 69번지 사고 직후 발생하였고, 짧은 시기에 같은 도시에서 두 번째로 큰 고층건물 화재였으므로 전국적으로 유명해졌다. 69번지 화재사고의 경우와 마찬가지로 건물에 스프링클러설비가 있었다면 연기와 열의 발생량을 상당히 감소시켰을 것이고, 아마도 거주자들은 신선한 공기를 얻기 위하여 배연창에 의존할 필요가 없었을 것이다.

시카고는 그 이후 고층건물 스프링클러설비 규정의 소급적용을 통과시켰고, 원격 또는 자동 해제장치가 없는 한 계단실의 잠금을 불법화하였다. 또한 대체 평가 시스템이 개발되었는데 이것은 본 잡지의 예전 기사에서 설명한 적이 있다.

2004년 10월에는 베네수엘라 카라카스의 Parque Central Building의 34층에서 화재가 발생하였다. 이 건물은 56층짜리 정부청사건물이었다. 이 화재는 2억 5천만 달러의 손해를 입혔으며 34층에서 50층까지를 태웠다. 이 건물 전체에는 스프링클러설비가 있었지만 작동하지 않았다. 화재 후 조사에서 스프링클러설비가 작동하였다면 화재는 발생한 층에 국한되었을 것이라는 결과가 나왔다. 이 화재에서 얻어진 하나의 교훈은 건물에 설치된 설비는 유지관리가 되어야 한다는 것이다.

2005년 1월초, 마드리드시 업무용 건물에서 밤에 일어난 화재는 건물의 중대한 구조적 손상을 야기하였다. 화재는 역시 스프링클러설비가 없는 건물에서 발생하였는데 그렇지 않았다면 결과는 아주 달라졌을 것이다. 따라서 화재에 대한 건물의 방호뿐만 아니라 인명안전의 관점에서 볼 때 스프링클러설비의 설치에 제일이자 최선의 준비 가능한 방호 대책일 수 있다.

이 화재사건들로부터 얻어진 교훈들은 간단하다. 고층건물의 구조와 구획의 방호는 충분해야한다는 것을 명심할 필요가 있다. 건물은 스프링클러설비를 갖추어야 하고 만약 그렇다면 그 건물은 상당히 안전할 것이다. 그러나 현재 고층건물에 대한 스프링클러설비의 간단한 설치 방법은 없다. 그래서 그러한 건물에 스프링클러설비의 설치를 장려해 줄 수 있는 세계 혜택 같은 수단이 요구된다. 그러나 스프링클러설비가 설치될 때까지는 건물에 중대한 화재 위험이 상존할 것이며, 아마도 인명 안전문제가 발생할 것이다.

□ 세계무역센터(World Trade Center)

세계무역센터 사건에 관해 많은 기사가 씌어지고 다루어졌다. NIST가 세계무역센터 1, 2에 대해 10,000 쪽이 넘는 보고서를 작성하였으며, 세계무역센터 7에 대해서도 더 할 말이 있을 것이므로, 이 글에서 어떠한 깊이 있는 내용을 다룰 수는 없다. NIST 보고서의 어떤 것도 고려되어야 할 모든 방화설계 문제를 다루진 않는다. NIST의 권장사항을 논의하기 전에 심각하게 고려해야 하는 몇 가지 생각 또는 개념이 있다.

첫째, 세계무역센터 1과 2의 사건은 고층건물 설계에 있어 고려하여야 할 사건인가? 건물이나 문화재 건물의 일부는 테러리스트의 위협에 대비할 수 있도록 설계되어야 하는가? 그렇다면 어떤 위협에 대해서? 이 설계는 얼마나 비용이 들고, 또 사회가 부담할 수 있는가? 또한 만약 건물들이 이러한 극단적 사고를 방호할 수 있도록 설계된다면, 일상생활은 더욱 힘들어질까, 아니면 더욱 전형적이거나 똑같이 엄격하나 비범한 위협에 대한 반응이 더욱 위험해질까?

예를 들어 이 사건에서 나오는 한 가지 평범한 권장사항은 더욱 강화된 계단실에 대한 필요성이다. 이것은 무엇을 의미하는가? 그것들은 얼마나 강화되어야 하는가? 더 강화된다면 결과는 어떠한가? 예를 들어 폭탄이 이 계단실에 설치되었다면, 기존의 계단실보다 안전할까 그렇지 못할까? 요지는 사회가 다른 사건들에 대한 건물의 반응에 있어 부정적인 관계가 있을 수 있다는 이해의 노력 없이 한 가지 사건에 대응할 수 없다는 것이다. 사회가 매우 특별하고 예측하기 어렵고, 감정적 결과를 받을 수 있는 안보 위협과 같은 사건에 대응하여야 하기 때문에 공동의 생각에 엄격함을 적용하기란 어려운 일이다. 그러나 만약 엄격함이 적용되지 않는다면 건물의 총괄적 능력은 향상되기보다 더 나빠질 수 있다.

세계무역센터 재난에서 나오는 두 번째 큰 문제는 사회가 세계무역센터 복합관 나머지 부분의 기능에 대해 쉽게 생각하는가이다. 세계무역센터 7의 붕괴를 포함해 건물의 일부에 상당한 손상이 있었다. 세계무역센터 7의 발화는 세계무역센터 1과 2에 대한 공격 때문이었던 반면, 물의 부족이 또한 그 이유였고 연료와 화재를 일으킨 붕괴가 모두 세계무역센터 7 건물에서 일어났다. 일반적인 고층건물에게까지 확장될 수 있는 본 사건에서 좋은 교훈을 얻을 수 있다.

□ NIST의 권장사항

NIST는 2005년에 세계무역센터 건물의 붕괴에 대한 일련의 권장사항을 출간하였다. 그 보고서는 8개의 그룹에 30가지 권장사항을 포함하고 있다. 이 글에서는 각각의 권장사항까지 다루려는 시도는 하지 않겠다. 그러나 권장사항에 대한 의미를 새기기 위하여 여기에서 그룹화한 항목을 소개하고자 한다. 그것들은 다음과 같다.

그룹 I : 증대되는 구조적 보전성

그룹 II : 강화되는 구조물의 내화

그룹 III : 구조물의 내화설계를 위한 새로운 방법

그룹 IV : 향상된 능동적 방호설비

그룹 V : 향상된 건물 피난

그룹 VI : 향상된 응급 대응

그룹 VII : 향상된 절차와 연습

그룹 VIII : 교육과 훈련

이 권장사항들은 초안 형태로 출간되었고 많은 기관들이 이에 논평하였다. 권장사항의 상당부분은 이 사건의 필연적인 부산물이었지만, 다른 사항들은 건물 설계에 있어 상당한 변화를 이끌어 내었다. NIST는 이 권장사항들에 대응하는 코드를 개발하는 코드 작업그룹과 함께 일할 것을 제의하였다. 넓은 범위를 다루는 일부 권장사항들은 그것들이 세계 무역센터 사건에서 꼭 일어난다거나 또는 단지 공격하는 방법으로 발생한 사건에서 유래된 것처럼 보이기 때문에 논쟁의 여지가 있는 것으로 생각된다. 다른 사항들은 건물이나 건물 운영에 장기적인 발전을 이루어 낼 것이며, 아마도 산업이 새로운 산물을 개발하는데 박차를 가할 것이다. 다른 것들도 여전히 운영이나 방식에 있어 변화와 함께 매우 쉽게 수행될 수 있는 것들이다.

NIST 보고서는 NIST 웹사이트(wtc.nist.gov)에서 찾을 수 있다. 이 사이트는 권장사항 자체는 물론 권장사항들에 이르는 모든 연구보고서를 포함하고 있다.

□ 고려할 사항들

설계 및 코드제정 기관들이 고층건물에 관해 신중한 고려를 해주어야 하는 몇 가지 분야가 있다. 이들 중 일부는 다음과 같다.

위험도 평가 : 초대형 건물들은 요리책과 같은 방식이 아니라 집적되고 전체적이고 합리적인 공학적 접근방식에 의해 설계되어야 한다. 통계적인 위험도 분석을 할 만한 충분한 고층건물 사건이 없었지만, 고층건물에 관련된 대로 위험성을 평가하는 많은 방법이 있다. 건물이 높아질수록 거주자의 수는 증가하고, 재난의 잠재위험은 증가된다. 잠재적 거주자의 수, 건물이 목표물인지 여부, 건물 안의 잠재적 위험들과 상점들, 다른 진화 노력들의 수용능력과 유효성, 그리고 건물의 다른 독특한 특징들과 같은 요소에 근거하여 공학적 결정이 내려져야 한다. 이러한 형태의 분석 없이는 건물이 요구하고 대중이 원하는 엄격함이 설계 과정에 포함되지 않을 것이다. 이러한 엄격함은 정통한 설계를 이끌어 내야 하는데, 문서로 잘 정리되어 생각의 과정이 미래에 따라올 수 있어야 한다. 오직 그러할 때, 초고층건물에 적용될 수 없는 코드를 모아 조합하여 사용하는 것보다 고층건물은 정말로 공학적으로 설계될 것이다. 그러한 접근이 오늘날 성능위주 코드의 형태로 존재하고 있지만, 그들의 사용은 특히 미국에 제한되어 왔다.

경계 : 코드들이 점점 모든 고층건물이 같지는 않다는 개념을 확실히 하고 있으므로, 어떤 방호물의 경계치를 개발해야 하는 것이 납득될 수도 있다. 예를 들어 고층의 요구조건이 소방장비의 길이에 근거하여 23m(또는 7~8층)에서 시작할 수 있다. 다음 경계는 약 20층에서 일어날 수도 있는데, 이 경계에서는 전체 건물의 피난이 다루기 어려워지고 또한 굴뚝효과가 연기 이동에 상당한 효과를 가지기 시작할 수 있다. 그 다음 경계는 40, 60, 또는 100층 일 수 있는데 이 경계에서는 피난 시간이 구조물의 내화시간을 초과할 수 있으며, 건물을 탈출하는데 승강기가 필요하다고 생각될 수도 있고, 소방대의 접근에 대한 특별한 조항이 필요할 수도 있으며, 제연설비만으로 굴뚝효과를 극복하지 못할 수도 있고, 사람들의 이동과 심리가 어떻게 메시지를 전달하고 받을 것인가에 대해 계산되어질 수도 있다. 이 경계들 중의 하나에서 앞에 설명한 코드가 더는 적용되지 않을 수 있고, 공학적 시스템을 이용하는 성능위주코드 접근이 유일하게 허용되는 대안일 수도 있다. 일단 이러한 해석이 시행되면 요구조건이 7에서 20층짜리 건물로 다소 완화될 수도 있을 것이다. 한 예로서 중국에서는 중앙정부당국의 승인을 통해 250미터가 넘는 건물은 초고층 건물로 분류되어진다.

구조적 내화 : 현재의 구조적 내화성능을 평가하는 코드 방식은 구식이다. 1시간, 2시간, 3시간 내화성능 분류보다 훨씬 더 건물의 잠재적 거동을 잘 말해주는 유용한 시뮬레이션 기법이 있다. 자동차 산업에 있어서 차량이 일련의 사고에 대해 어떻게 반응하는지 결정하기 위해 물리적 충돌과 충돌 시뮬레이션이 신차 모델에 대해 사용되었다. 이와 같은 모델이 구조적 내화성능을 판정하기 위해 건축 산업에 사용될 수 있다.

고층 건물에서 또 다른 구조적 내화성능에 대한 견해는 오랜 시간 동안의 사고에 견뎌내는 건물에 대한 요구이다. 중간 높이의 건물에 있어 현재의 빌딩코드는 구조적 내화성능을 가진 건물의 완전 피난시간과 합리적으로 일치한다. 그러나 초고층 건물에 대해서는 내화성능에 있어 변화가 고려되어야 하지 않겠는가? 만약 그렇다면 얼마나 고려되어야 하는가? 이 항목에 대한 합의점이 아직 도출되지 않았다. 또한 스프링클러설비가 화재진압에 실패한다면 비용과 허용 가능한 방법에 대해 논의할 필요가 있다. 물론 전체 건물의 붕괴는 수용할 수 없지만, 국소적 붕괴나 작은 면적의 변형은 화재발생 시 스프링클러설비가 실패하는 드문 경우에도 수용 가능한가? 더욱 엄격한 조항에는 더 많은 비용이 든다.

재정적 인센티브 : 건물 에너지 분야에 있어서 에너지 사용을 위한 최소한의 코드가 있다. 그러나 건물의 에너지 사용을 평가하기 위한 지원 시스템이 나타났으며, 이것은 많은 소유주들이 에너지 효율이 더 높은 건물의 개발을 선택하도록 만들었다. 그들은 이 증가한 에너지 효율을 잠재적 거주자에 대한 마케팅의 수단으로써 또한 다른 건물에 비해 그들의 건물이 얼마나 에너지를 사용하는지를 평가하는 수단으로써 사용할 수 있다. 이것이 시장성 증대와 함께 작업 비용을 낮추게 하였다.

고층건물에 대해 NFPA와 의회에서 인명안전에 대한 유사한 지원 시스템의 개발을 위해 고려하고 있는 기회가 있다. 이것이 현재 점수평가 시스템으로 요청 받고 있으며 에너지 효율 건물에 대해 사용되는 LEED 시스템과 유사하다. 이는 건물 소유주들로 하여금 그들의 건물 안전을 향상시킬 수 있도록 해줄 것이며, 측정과 마케팅의 수단을 갖도록 해줄 것이고, 또한 아마도 더욱 안전한 건물을 갖게 해줄 것이다. 종종 법률 제정 보다 시장의 영향이 변화를 창조하도록 하는 것이 바람직하다.

참고문헌

1. NFPA 101, Life safety code, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 1988.
2. Report of the Cook County Commission Investigating the 69 West Washington Building Fire of October 17, 2003, Cook County Board, Cook County, IL, 2004.
3. Baldassarra, C., "Fire Safety Meets Economics 101 - How Chicago Achieved Balance in its High-Rise Building Ordinance," *Fire Protection Engineering*, 26, Spring 2005, pp 22-28.
4. Moncada, J.A., "Fire Unchecked," *NFPA Journal*, March/April 2005, pp 46-52.
5. Madrid Windsor Fire - The Arup View, www.arup.com/fire.
6. NIST NCSTAR 1, Final Report on the Collapses of the World Trade Center Towers, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2005.

참고자료 : Fire Protection Engineering (2006년도 여름호)

번역 및 편집 : 방재설비부 공학박사 곽지현