

**C-4**

**고층빌딩에 대한 방재대책 방안에 관한 연구**  
**- 미국 무역센터(WTC) 빌딩 폭발·붕괴의 사례 -**

**김태환**

용인대학교 경호학과

**A study on fire safety for high-rise buildings**  
**- Exemplified by World Trade Center(New York) bombing -**

**Tae-Hwan Kim**

Department of Security Service, Yongin University

**1. 서론**

WTC빌딩은 미국의 발전 과정의 영광의 상징으로서 뉴욕의 맨허튼의 발전에 큰 영향을 끼쳤으나 지금은 그 자국도 없다. 2001년 9월 11일 미국에서 시작 된 테러에 의한 뉴욕의 세계무역센터(WTC) 빌딩의 폭발은 110층이란 쌍둥이 초고층 빌딩의 붕괴로서 우리에게 초고층 빌딩의 안전신화를 붕괴하게 했으며, 그런 상상할 수 없는 붕괴의 영상은 세계의 사람에게 고층 건물에 대한 커다란 불안을 주게 했다.

일본에서는 철골구조에 의한 고층건축의 건설이 1923년의 관동대지진시 화재에 의해 붕괴된 후에 진재 복구를 위하여 시가지 건축물로서 철근 콘크리트를 중심으로 건설되어 철골은 피해왔다. 1960년대 후반에는 초고층 건축의 건설에 도전하기 위하여서는 어떻게든 철골구조로 할 필요가 있어 여러 안전대책에 대하여서도 검토하여 왔으나, 그러나 비행기가 고층빌딩에 충돌한다는 것을 상상하지도 못하였다. WTC빌딩의 구조설계자에 의하면 비행기의 충돌을 전제로 설계하였지만 설마 화재의 열에 의하여 철골의 내력이 부족하여 자중 때문에 붕괴되어 가는 시나리오까지는 생각지 못하였다. 그러므로 본 연구에서는 붕괴사고영상과 보도자료를 분석한 결과를 바탕으로 비상시의 대피를 위한 피난계단의 재점검을 목적으로 그 대안을 제시하고 저 한다.

**2. 무역센터 빌딩의 붕괴현황과 메커니즘**

지상 110층에 높이 400M를 넘는 초고층 빌딩이 설마 모래성과 같이 순간적으로 붕괴되어진 원인은 신문이나 TV 등에서 해설되었으나 좀더 정리할 필요가 있다. 먼저 확인하지 않으면 안 되는 것이 WTC 빌딩은 1970년대(北棟이 70년 南棟이 72년)에 건설되

어 졌지만 당시에는 최첨단 기술의 발전만이 높은 관심이었지 그 공법의 아이디어는 현재에도 우수한 작품으로 남아있다.

더블튜브=골조튜브(Framed Tube)라고 불리는 공법으로서 단면으로 보면 큰 튜브 안에 작은 튜브가 들어있는 구조로 되어 있고, 가운데 부분이 엘리베이터 홀과 계단 실이 있다. 외측의 튜브에는 銅鐵製의 기둥 240개가 몇 M 기초되어 있고 그 것은 횡보로 연결되어 외부로부터 바람의 압력을 견뎌낼 수 있고 내측의 튜브에는 40개의 기둥이 들어 있어 이것이 빌딩의 자중을 견뎌 낼 수 있는 심장에 역할을 하고 있다. 2개의 튜브 간에는 바닥이 있어 이것이 오픈 스페이스의 역할을 하고 있지만 바닥과 기둥의 접합부에는 PIN으로 고정되어 있어 오픈 스페이스에는 기둥이 없고 공간을 효율적으로 활용할 수 있는 설계로 되어 있다. 지반이 좋고 커다란 강진(지진)의 가능성도 적은 맨해튼에는 경제적이며 효율적인 공법이었다.

또한 보도되어진 붕괴된 초고층 건물의 최대의 원인은 강력한 충돌에 의한 것이 아니고 항공기의 제트연료에 의한 화재였다. 제트연료는 등유와 같은 성분으로 1200에서 2000도의 고온에 연소되어 휘어지는 것은 일반적으로 철의 내력이 600도에 고열에 휘어지는 성분에서도 잘 알 수 있다. 이번과 같이 900도의 열이 일 순간 연속 연소되어 빌딩의 무게를 지탱하는 철골의 내력은 0에 가까운 결과였다.

그 결과 비행기가 충돌한 층 보다 위 부분의 중량을 견뎌내지 못하고 붕괴되었다. 또한 항공 연료는 충돌 층의 밑으로 흘러내려 화재를 일으켰으며 밑층의 기둥도 약해졌었다. 항공연료에 의한 화재라는 것은 소화 설비의 대응의 상상을 뛰어 넘는 사태가 일어나 최악의 「방치화재」로 되어 졌다.

그렇지만 이 사고를 좀더 깊이 검토하면 할수록 테러 그룹이 얼마나 신중하게 전문적으로 계획되어진 것인가를 알 수 있었고 또한 그 계획한대로 실천하였는가를 충분히 이해되어 진다. 예를 들어 ETC빌딩의 단면은 일각 63·4M의 정방형이지만 충돌한 B767-200은 전장 48·5M로서 양 날개가 47·6M로서 빌딩 단면에 정확히 들어 갈 수 있는 공간이 되었다. 또한 최악의 방치화재를 일으키기 위해서는 빌딩을 충돌한 후 빗나가 반대측에 튀어나오는 예상을 할 수 있지만 이번 빌딩 붕괴에서는 내측의 철골이 정확히 비행기를 잡고 있는 형태로 되어 엔진은 빌딩의 내부에 멈추어 고온으로 연소되어 피해를 증가시켰다.

건축의 전문가도 그 현장에서 구조 작업 중에 피해를 입은 소방대원들도 아무도 예측을 하지 못한 사태였고 테러그룹만이 냉정하게 계산하여 정확히 예측한 결과였다.

### 3. 일본의 빌딩은 어떠한가

이번 충격적인 영상을 보고 WTC빌딩과 다르게 지진을 예상한 軸組건축 공법이 주류인 일본의 초고층 빌딩은 어떠한가 하는 의문점을 가지지만, 이번과 같은 상황에서도 자국도 없이 사라지는 것과 같은 것은 일본에서는 없을 것이다. 라고 생각하는 사람이 없지 않을 것이다. 그러나 위에서 지적한대로 건축 구조상의 문제로 생각한다면 비행기가 충돌한 충격 만이라면 WTC빌딩의 공법으로도 충분히 견딜 수 있었을 것이다. 역으로 말하면 軸組공법으로 지어진 일본의 건물의 경우 충돌의 충격이 엄청나게 빌딩에

전가돼 부러질 수 있다는 것이다. 그러나 층들의 충격을 흡수하여 붕괴를 막을 수 있다는 점에서도 WTC빌딩의 공법에 특별하게 약점이 있는 것은 아니다.

일본의 빌딩과 비교한 경우 WTC빌딩에서 주목할 것은 층들층 위층에서 피난 한 사람이 있었다는 것이다. 이것은 그 상황에서 계단에 연기가 투입되지 않는 정상적으로 사용되어 졌다는 의미를 부여한다.

#### 4. 피난 공간을 가압화 한 경우의 유효성

뉴욕 주에 있어서 1970년의 「뉴욕 프라자빌딩 화재」 이후 계단실과 엘리베이터홀안에서는 가압화해 연기가 들어올 수 없게 하는 시스템 설치를 권장하고 있었다. 그것은 계단 실에 새로운 공기를 계속 불어넣어 연기가 들어 올 수 없게 막는 역할을 한다. 이 시스템이 있었기 때문에 이번의 테러에 의한 건물 붕괴에서 계단 실을 유효하게 사용할 수 있었다.

1993년 2월 26에 일어난 「WTC빌딩 폭발 사건」은 지하 2층의 주차장에 장치되어진 약 90kg의 대량의 폭약에 의한 폭발로서 지하 2층에서 지상 6층까지의 바닥을 붕괴하게 하였고 빌딩 전체의 기능을 관리하는 심장부가 파괴되어져 비상용 전원이 작동하지 않아 가압시스템도 정지되었다. 연기는 420m를 넘어 최상층까지 전이되었다. 1000명이 넘는 사상자 대부분은 계단을 사용하여 피난하는 도중에 연기를 흡수한 사람이었다. 만약 이번의 테러에 대해서도 항공기에 의한 충격 외에 빌딩 전체의 심장부인 지하에 있는 방재관리센터에 까지 영향을 미치지 못하였기 때문에 피해가 증가되지 않았다. 그것과 같이 많은 희생자를 낸 사건에 대하여서는 적절한 언어로서 표현할 수 없지만 그 같은 상황에서 계단 실이 사용되어진 것은 불행 중 다행이라 할 수 있다. 이와 같이 계단 실에 加壓시스템이 적용되어진 사례는 우리나라나 일본에서는 드물지만, 20년 전 村上 교수(요코하마 국립대학교 건축학과 명예교수)가 설계를 담당한 신주쿠의 노무라 빌딩이 처음 적용되어진 건물이 있다. 加壓시스템의 또 다른 「排煙시스템」, 즉 계단 실에 들어오는 연기를 외부에 배출하게 하는 시스템으로서 기밀성이 높은 고층빌딩 내부의 연기를 한꺼번에 배연하는 작업은 곤란하며 실질적으로 효과를 기대 할 수는 없다.

#### 5. 초고층 빌딩의 화재 대응의 원칙

이번 「WTC빌딩 폭발 사건」은 빌딩에 남겨진 사람의 구조에 투입된 많은 소방대원과 경찰관이 붕괴에 희생되어 2차 재해의 피해자가 된 것에 주목하여야 할 것이다. 그들과 같이 아무도 붕괴의 가능성을 예측하지 못한 것은 사실이나, 항공연료에 의해 화재가 철골을 軟化시켜 붕괴를 일으키는 것을 알고 있었다해도 소방대원에 의해 지상 80층 이상의 화재를 진압한다는 것은 불가능하다는 것이 초고층빌딩의 본질적인 리스크인 것이다.

「자기가 진압하고 자기 스스로 피난한다」는 것은, 초고층빌딩화재에 있어서의 커다란 원칙이라 할 수 있다. 소방의 손이 미치지 않는 곳에 화재가 발생하면 빌딩스스로가 방

재설비로서 소화진압을 하고, 또한 빌딩의 내부에 사람은 자력으로 피난한다는 의미로서 초고층빌딩에 있어서 소방의 최선의 역할은 인명구조로서 소화진압은 아니다.

그러기에, 초고층빌딩은 자기 스스로 진압시 개개인이 스스로가 피난하기 위하여 장비 마련이나 준비를 철저히 해두는 것이 필요하다.

또한, 10층 이상의 건물은 각층에 스프링클러나 防煙문 등 기계적방재설비를 설치하는 것은 당연한 것으로 기계적 방재설비가 아직 발전하지 못한 초기의 초고층빌딩에서도 몇 개층에 소방을 위한 설비계를 독립시켜, 만에 하나 어떤 시점에서 불을 끄지 못해도 그 층을 포함한 數層에 화재가 연소되는 정도로 그 층의 상하의 층은 전혀 피해가 없다. 라는 공간 계획적 방재대책을 실시하는 것이 필요하다. 계단실에 가압시스템을 설치한 신주꾸노무라빌딩의 경우, 배연시스템을 병용하여 빌딩의 양측에 피난계단과 각층의 화장실에는 피난할 수 있는 피난사다리가 설치되어 있으며, 더더욱 7층마다 안전한 피난 스페이스가 설치되어 있다. 재난시의 방재설비가 입는 타격을 생각하면 예방차원에서 준비하면 할수록 좋다는 것을 알 수 있다.

그리고, 재난 시에 설비계의 안전관리와 경비계의 안전관리가 협력하여야 하는 체계로 이루어져야하나 기계계의 컨트롤실과 경비계의 컨트롤실이 각각 따로 설치 되어있는 고층건축이 많은 현실에서 실제의 재난시에 혼란을 줄 수 있다. 신주꾸노무라빌딩에서는 일본의 초고층에서는 처음으로 기계계의 컨트롤실과 경비계의 컨트롤실이 합쳐져 있다.

그러나, 이번 미국과 같은 상황에서는 초고층빌딩은 「자기가 진압하고 자기 스스로 피난한다」라는 의미에서 제대로 하고 있는가 하는 의문점을 던진다.

소방법을 지키면 된다는 건교부의 허가만 있으면 된다는 발상으로서 스프링클러의 설치개수만을 생각하여 그것이 고장날 경우를 대비한 공간 계획적인 방재가 마련되어 있지 않다.

우리의 초고층건축의 방재는 기계적 방재에 치우쳐있는 것이 대부분이며 재난시 기계가 고장나는 것을 상정하고 있지는 않다.

사실, 원래 작동하여야하는 방재설비가 작동하지 않아 비극으로 이어지는 예는 얼마나 많았는가 하는 것은 우리주위의 사례에서도 잘 알 수 있다.

비상시에 방재설비가 정확히 작동되지 않는 초고층빌딩 그것은 도시에 있어서 거대한 무덤과 같은 것이다.

그러므로, 초고층 빌딩을 건설하는 의미를 건축가나 방재전문가들은 한번더 초심으로 돌아와 생각하여야할 좋은 시기가 아닌가 하며, 초고층빌딩이 본질적으로 가지고 있는 리스크를 어떻게 줄일 수 있을까, 또는 마천루의 꿈과 이상을 버리고 새로운 발상의 건축 디자인을 생각할 것인가가 이번 테러에 의한 고층빌딩의 붕괴가 우리에게 가져다주는 의미는 그 만큼 깊고, 중요하다.

## 6. 결론

초고층건물에서는 항상 위험이 존재한다는 전제 하에 가능한 성능위주의 안전이 감입된 새로운 대책을 세워야하며, 최종적으로 경제적 가능성을 빨리 결정하여 본질적 위

험을 사회와 시민에게 공개하여 사회전체가 안전의 레벨의 높일 수 있는 계기와 검토하여 안전뿐만 아니라 경비에 있어서도 스스로 선택하여 고층건물에서의 테러 대책에 만연을 기할 수 있는 대책을 세워야 한다.

### 참고문헌

1. “테로와防災”, 文藝春秋特輯, (2001. 9)
2. “火災安全計劃”, 學藝出版社, (1991)
3. “테로對策의知識と實務”, 啓正社. (2000. 6)
4. “航空테로記錄”, ikaroso出版社, (1997)
5. 중앙, 조선, 동아일보 “미국무역센터빌딩 테러보도자료”, (2001. 9. 12~30)
6. <http://kr.yahoo.com/> “미국무역센터빌딩 테러보도 영상자료”, (2001. 9. 12~30)