

# 건축물 붕괴사고 주요 사례 및 예방대책

글 이철주 KFFA 조사연구팀 과장, 건축구조기술사

## 1. 머리말

최초의 아파트 붕괴사고로 기록된 와우아파트 참사 이후 크고 작은 건축물의 붕괴사고가 있었으며, 1990년대에 들어서 우암상가 아파트, 성수대교, 삼풍백화점 등 수 많은 인명피해를 발생시킨 대형사고가 연이어 발생하여 붕괴 공화국이란 오명을 듣기도 했다. 모든 사고가 고베 대지진과 같은 자연재해가 아닌 인재라는 점이 우리의 가슴을 더욱 아프게 했다. 이를 계기로 국내 건물 안전제도는 설계단계, 시공단계, 유지관리단계에서 많은 변화가 있었는데, 설계단계에서 다중시설 설계 시 구조기술자의 구조확인 의무화, 건축허가 시 건축위원회의 구조심의 강화, 시공단계에서 감리수준 강화, 부실관련자 처벌 강화, 유지관리단계에서 시설물의 안전관리 특별법의 구조안전점검 중심으로 개선되어 왔다.

그러나 이러한 안전제도 개선에 관한 노력에도 불구하고 올해 초 경주 마우나리조트 체육관의 붕괴참사 등이 발생하였으며, 앞으로도 유사한 인재가 발생할 수 있으므로 사고사례를 통하여 문제점과 개선방향을 살펴보고자 한다.

## 2. 건축물 붕괴사고 사례

우암상가APT, 삼풍백화점 붕괴에서 대규모 사상자가 발생하여 국내 건물 안전제도에 많은 변화가 있는 이후에는 완공된 건축물에서 대규모 인명 피해를 유발하는 붕괴사고는 발생하지 않다가 최근 마우나리조트

에서 붕괴사고가 발생하였다. 국내 건축물의 주요 붕괴사고 사례는 <표 1>과 같다.

<표 1> 건축물 주요 붕괴사고 사례

사고명	사고일시	피해사항	사고 내용
우암상가APT	1993. 1. 7	사망 28명 부상 48명	우암상가 APT에 화재 발생 이후 건물 붕괴
삼풍백화점	1995. 6. 29	사망 502명 부상 937명 실종 6명	설계 및 시공이 부실한 건축물에 설계하중 초과 사용으로 콘크리트 내력벽을 제외한 건물전체가 지하까지 각종 슬래브가 차곡차곡 붕괴
휘경동 주택	2003. 10. 9	주택 철거	30년전 섬유염색공장에서 사용하던 물탱크를 철거하지 않고 성토하여, 물탱크 상부 주택 시공(1층 주택에서 3층으로 신축 후 1년 후 전도)
인천공항 화물터미널	2008. 7. 23	지붕, 벽체 붕괴	시간당 60mm의 강우 상태에서 지붕에 간판 설치 작업 쓰레기와 장비로 배수관 5개(전체 7개)가 막혀 배수 불량 상태에서 강우에 따른 하중을 견디지 못하고 붕괴
마우나리조트	2014. 2. 17	사망 10명 부상 128명	건물 골조에 강도가 낮은 저급 부재를 사용하고, 중도리와 지붕판넬 결합 부적절한 상태에 설계하중을 초과하는 폭설이 내려 강당 지붕이 붕괴
아산 오피스텔	2014. 5. 12	건물 철거	암반까지의 깊이가 미달되는 기초파일을 설계수량의 70% 정도만 설치하고, 기초 두께를 작게 설치하는 등의 부실시공으로 건물 전도

### 가. 우암상가APT

상가 1층에서 발생한 화재로 1시간만에 건물이 붕괴한 사고로, 사고초기에는 화재로 인한 LPG폭발로 건물이 무너졌다는 주장이 제기되었으나, 가스 용기가 파손되지 않은 점 등의 현장 상황으로 보아 가스 폭발은 일어나지 않은 것으로 알려졌다. 또한 철근콘크리트 내화구조의 건축물로 화재로 인한 열기로 구조물이 약해질 수 있으나, 대연각호텔 화재와 부산 대야호텔 화재 시 수시간 이상 연소되었으나 붕괴되지 않은 점에서 화재가 직접적인 붕괴원인이 아닌 것으로 보고되었다.

#### (1) 무리한 설계와 부실시공

우암상가 APT는 당초 지하 1층, 지상 3층으로 허가 후 건물을 시공하면서 자금 난으로 건축업자가 3회 이상 경질되었고 그때마다 무리한 설계 변경과 4층, 옥탑의 증축으로 기둥, 기초 등에 대한 건물하중이 증가된 상태로 조사되었다.

붕괴현장에서 시료를 채취하여 시험한 결과, 굵고 푸석한 황색 자갈 등의 불량골재가 사용되었으며, 콘크리트 구조체에 나무조각 등 이물질이 다량 함유된 시공불량 상태로 기둥과 보의 설계기준강도는 150kg/cm<sup>2</sup>이나, 시료 시험결과 평균 압축강도는 112.9kg/cm<sup>2</sup>로 조사되었다.

#### (2) 보 철근 배근 및 내화피복 두께기준 미달

보의 스티럽은 보춤의 3/4 또는 45cm 이하의 간격으로 설치되어야 하지만 초과부분이 다수 발견되었고, 보 철근의 내화피복은 두께가 3cm이상으로 규정되어 있으나 철근이 노출되거나 대부분 1.7~2cm로 기준이 미달되었다.



[사진 1] 청주우암상가아파트 붕괴사고



[사진 2] 삼풍백화점 붕괴사고

### 나. 삼풍백화점

부실설계, 부실시공, 과하중 등이 직접적인 붕괴원인이 되어 일어난 총체적 부실에 따른 붕괴사고로 알려져 있다. 삼풍백화점 붕괴에 영향을 미친 원인으로 건물의 유지관리 과정에서 무단 설계 및 용도 변경으로 구조물에 추가하중이 부과되었을 뿐만 아니라 구조체를 임의로 절단, 파손하여 구조부재에 큰 손상을 가함으로 구조물의 내력감소를 초래하였다.

시공과정에서는 현장에서의 공사 관리 및 감독 소홀로 부실시공을 확인하지 못하였고, 부적절한 건축 및 구조 설계 계획으로 연쇄붕괴를 일으키는 요인이 되었다. 장기간에 걸쳐 균열이나 처짐 등 붕괴에 선행되는 여러 징후가 발생했음에도 불구하고 안전관리를 소홀히 하였고, 붕괴 직전과 같은 위기 상황에 대한 대처가 미흡하였다.

서울시가 발행한 삼풍백화점 붕괴 사고 백서에 조사된 단계별 부실내용은 <표 2>와 같다.

<표 2> 삼풍백화점 주요 붕괴원인

분 야	부 실 내 용	현 상
설계	허가 설계도면, 시공도면이 다름	기둥, 슬래브, 철근 등 11군데 구조계산서와 상이
	구조계산 무시한 구조설계	
시공	기둥시공부실	기둥의 내력저하
	슬래브 받침대 규정보다 5~10cm 얇게 시공	슬래브 내력감소, 횡파괴·전단파괴에 취약
	내력벽과 슬래브 연결불량	연결 결합력 떨어짐
	철근과 콘크리트 결합부실	붕괴 시 철근이 콘크리트에서 떨어져 나감
	하중을 고려하지 않은 냉각탑 설치 (기둥시 총하중 86톤)	400 kg/m <sup>2</sup> 초과하중 발생
	구조계산을 초과한 무리한 시공	5층 지붕과 5층 바닥에 초과하중 발생
감리	상주감리 미실시(골조공사시)	허위현장조사서 작성 허위현장조사서 작성
	무자격자를 상주감리원으로 지정(골조공사 후)	
유지관리	준공 후 건물 유지관리 부재	찾은 용도변경 및 증축 시 정밀점검 결여



[사진 3] 마우나리조트 붕괴 사고

### 다. 마우나리조트

마우나리조트의 PEB<sup>1)</sup> 구조로 체육관이 적설하중에 의해 붕괴된 사고이다. 적설하중은 쌓인 눈의 중량이 건축물에 작용하는 하중으로, 100년 재현주기의 적설량에 따라서 건축구조기준에서 정한 지역별 지상적설하중을 기본으로 하여 여러 가지 계수를 적용하여 건축물의 지붕에 고려하는 중력하중이다. 경주지역을 비롯한 우리나라 대부분 지역의 기본지상적설하중은  $0.5\text{kN/m}^2$ 으로 지붕에 작용하는 적설하중은 지붕의 등분포 적재하중의 최소값( $1\text{kN/m}^2$ , 지붕활하중을 저감할 경우  $0.6\text{kN/m}^2$ ) 이하이기 때문에 마우나리조트에서는 적설하중을 고려하지 않았을 수 있다. 다만, 최근 기상이변으로 예상치 못한 폭설 및 습설이 내리는 경우가 있고 지형조건에 따라 적설하중이 변하는 것을 고려하여 건축구조기준을 개정준비중인 것으로 알려져 있다.

검찰에서 배포한 보도자료에 따르면 체육관 붕괴사고의 원인은 아래와 같다.

#### (1) 설계·시공·감리 부실

마우나리조트 체육관의 주기둥과 주보의 구조계산서 및 상세시공도면상에 명기된 부재는 SM490<sup>2)</sup>강재로 되어 있으나 실제 시공된 강재는 훨씬 낮은 강도의 SS400<sup>3)</sup> 강재와 철골구조물 시공에 부적합한 SPHC<sup>4)</sup> 강재가 사용되어 구조물의 내력 감소를 유발하였다.

또한 보의 횡좌굴을 방지하기 위해 모든 중도리와 지붕패널이 관통스크루로 긴밀하게 접합되어 있어야 함에도, 총 26개 중도리 중 12개만이 지붕패널과 결합되고 14개는 미결합된 상태로 시공되어 중도리와 주보가 적설하중으로 인한 횡비틀림을 견디지 못한 것으로 조사 되었다.

그 밖에 주기둥 및 보조기둥의 베이스플레이트 하부의 고강도 무수축 모르타르 미시공, 새그로드의 누락 등의 시공 부실도 붕괴에 영향을 미친 것으로 조사되었다.

#### (2) 체육관 유지·관리 부실

사고 당시 체육관은 수일간 폭설이 계속되어 기본지상적설하중( $50\text{kg/m}^2$ )을 훨씬 초과하였고, 내린 눈으로 인한 붕괴 위험성을 충분히 예견할 수 있는 정도로 많은 눈( $114\text{kg/m}^2$ )이 쌓여 있었음에도 제설작업을 전혀 하지 않은 상태였다.

사고조사를 위한 전문감정단의 시뮬레이션 결과에 의하면, 주기둥과 주보에 상세 시공도면상 지정된

1) PEB(Pre-engineered Building)은 힘이 많이 걸리는 부분에는 구조부재를 크게 하고 힘이 적게 걸리는 부분에는 부재를 적게 해서 구조부재를 효율적으로 사용하는 공법. 이론적인 문제는 없으나 부재내력의 여유치를 가능한 줄이기 때문에 부정확한 시공 또는 하중이 증가될 경우 좌굴 등의 문제가 발생하기 쉽다.

2) 한국산업규격(KS D 3515)에 따른 용접 구조용 압연강재로 판 두께 40mm 이하에서 항복강도는 325MPa이다.

3) 한국산업규격(KS D 3503)에 따른 일반 구조용 압연강재로 판 두께 40mm 이하에서 항복강도는 235MPa이다.

4) SPHC 강재는 한국산업규격(KS D 3501 : 열간 압연 연강판 및 강대)에 따른 연강도 자재로 철골구조물 시공에 부적합한 재료임.

SM490강재를 사용하고, 중도리와 지붕패널이 정상 결합되었을 경우에는, 사고 당시의 적설하중에 붕괴되지 않았을 것으로 확인되었다.

### 3. 붕괴원인 분석 및 고찰

건축물의 설계에는 안전율이 고려되어 있다. 따라서 어느 정도의 초과하중에 대해서는 건물이 가진 잠재 능력이 있기 때문에 급작스러운 붕괴는 발생하지 않는다. 건축물의 구조설계에 주로 사용하는 '안전율(Safety Factor)'이라는 개념은 건물에 작용한 하중(외력)에 대한 건물의 저항능력(내력)의 비율로서 이를 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{안전율}(S \cdot F) = \text{작용하중(소요강도)} / \text{건물의 저항능력(설계강도)}$$

건물을 설계할 때에는 구조해석 및 구조계산을 통하여 건물이 사용기간 동안 작용할 수 있는 하중에 대하여 안전하도록 구조설계를 한다. 구조부재 설계 시 기준이 되는 부재의 강도(설계강도)는 각 재료(콘크리트, 철근)의 강도에 저감계수를 적용하여 안전율을 고려한다. 또한 건물에 작용할 것이라고 예상하는 하중(설계하중)도 각 하중의 불확실성을 고려, 하중계수를 적용하여 다소 크게 가정하여 설계한다. 따라서 건물 설계에서는 전체적으로 2배 전후의 구조적 안전성을 가지고 있다.

준공초기 건물설계에서 가지고 있는 안전성은 증축, 구조변경 등으로 인하여 설계당시 고려되지 않은 하중이 작용하여 전체 하중이 증가하게 되면 안전율은 감소하게 되고, 건축물의 붕괴를 초래할 수 있는 과도한 하중이 작용하게 될 경우에는 건물의 안전은 장담할 수 없게 된다.

또한 시간의 경과에 따라 콘크리트의 열화, 철골의 부식 등으로 구조물의 성능은 저하하게 되고 이에 따라 건물의 저항능력은 감소하게 된다. 건물의 저항능력이 감소되어 소요강도 이하가 되면 구조물의 안전은 담보할 수 없게 되기 때문에 주기적인 보수, 보강으로 건물의 성능을 유지하여야 한다.

건축물의 주요 붕괴원인을 살펴보면 설계, 시공, 유지관리의 한가지의 원인이라기보다는 복합적인 문제가 건물 붕괴를 유발하는 경우가 많다는 것을 알 수 있다. 여러 단계에 걸쳐 다수의 이해당사자가 참여하는 건설사업의 특성상 사고원인이 연쇄성 및 복합성을 가지고 있다.

〈표 3〉 건축물 주요 붕괴원인

사고원인	우암상가 아파트	삼풍백화점	인천공항 화물터미널	마우나리조트	아산오피스텔
설계부문	설계변경 및 증축	설계도서 불일치	-	-	-
시공부문	콘크리트 강도 부족 및 철근배근 불량	콘크리트 강도 부족, 초과하중, 감리 부실	-	철골 재료 불량	파일 부실시공
유지관리	준공 후 유지관리 부재	준공 후 유지관리 부재	지붕 유지관리 불량	지붕 적설 유지관리 불량	-

이에 대한 대책으로 발주자 또는 건축주에게 권한에 비례하는 책임을 부여함으로써, 최저가 낙찰을 기본으로 하는 건설공사의 관행을 합리적인 가격협상에 의해 건설공사를 수행하는 방식으로 전환하여 안전 및 품질의 확보가 될 수 있도록 하여야 한다. 설계자, 감리자, 시공사, 유지관리자 등 시설의 생산과 유지에 종사하는 전문가들의 전문성이 보장되어야 하며, 자신의 전문영역에 대해서 책임을 질 수 있도록 하여야 할 것이다.

예를 들면 최근의 시설물은 복잡화, 다양화 되어 현행의 규모를 기준으로 한 제도(6층 이상, 기둥간 거리 30m 이상 등 설계시 건축구조기술사 협조 또는 연면적 3만 제곱미터 이상, 16층 이상 등 건축물은 시설물 안전관리 특별법상 점검 대상 등)는 안전에 대한 사각지대를 가질 수밖에 없는 상태이다.

#### 4. 맺음말

구조물 붕괴의 원인을 분석해 보면 부적절한 유지관리로 인한 구조체 손상의 지속 및 하중증가 등 건물 유지관리가 크게 기인하는 것으로 나타나고 있다. 구조물은 붕괴 이전부터 오랜 기간 동안 수많은 징후를 나타내고 있으므로 적절한 대책을 세우는 것이 중요하다. 삼풍백화점 붕괴사고 이후 유지관리 단계의 문제점을 해소하기 위해 시설물안전관리에 관한 특별법으로 구조안전점검을 의무화하고 있으나 대상건축물에 사각지대가 존재하고 건물 소유주와의 계약관계에 의해 이루어지는 점검으로 발주처의 요구로부터 자유롭지 못하다는 약점을 해소하는 것 역시 필요한 부분이다. 한편, 안전의 신뢰성과 효용성을 높이기 위해서는 대형 피해가 예상되는 초고층 건물과 복합 건축물 등은 관련 기관의 중복 점검도 고려해야 할 것이다.

한국화재보험협회에서는 2015년부터 붕괴위험에 대한 사고예방을 통해 인명 및 재산손해를 경감시킬 목적으로 특수건물에 수행하는 안전점검 분야를 확대하여 기존의 화재·폭발 위험뿐만 아니라 붕괴위험 점검을 수행하고자 한다. 앞으로 민간기관의 다각적인 안전점검이 조기에 정착되어 사고 예방에 기여하기를 기대한다. ☺

#### [참고자료]

1. 삼풍백화점 붕괴사고의 원인과 교훈, 정란, 건설안전정책세미나, 2005. 6.
2. 삼풍 이후 건설안전정책의 변화와 향후과제, 신동우 외 2인, 건설안전정책세미나, 2005. 6.
3. 삼풍백화점 붕괴사고의 원인에 대한 재조명, 안홍섭, 2005
4. 청주 우암상가아파트 화재 사고, 채수주, 한국화재보험협회, 1993.
5. 마우나오션리조트 체육관 붕괴사건 수사결과, 대구지방검찰청 보도자료, 2014.4.18.