

# 건축물의 구조적 하자 및 안전대책(上)

이 리 형

한양대 부총장

우리협회 자문위원

## 1. 서 론

이 지구상에서는 월평균 1회 이상의 지진이 발생하고 있으며, 최근에는 그 횟수가 빈번해지고 있다. 이로 인하여 구조물이 붕괴되어 많은 재산 및 인명피해를 초래하고 있으며 특히, 일본의 고베나 러시아 등지에서 최근 발생한 지진과 피해는 건축물의 안전대책에 대한 그 중요성을 다시 한번 깨닫게 해주고 있다. 우리나라는 일본에 비하여 상대적으로 지진에 대해서 안전하며, 지진에 의한 피해는 아니지만 청주 우암아파트의 붕괴나 성수대교 붕괴로 인한 인명 및 재산상의 많은 피해를 초래하여 건축물의 유지, 보수와 안전대책 마련은 중요하다는 교훈을 남겼다.

건축물에 발생하는 구조적 피해는 자연재해적인 지진뿐만 아니라 건물 자체에서 구조계산상의 오류, 부실한 시공, 재료 자체의 특성 등과 같은 여러가지 요인에 의하여 발생할 수 있다. 따라서, 건축물의 구조적 하자원인을 분석하고 이에 대한 안전대책을 강구하는 것은 매우 중요한 과제로 등장하게 된다.

특히, 우리나라에서는 최근 도심지 재개발 및 급속한 경제성장에 따라 건축물이 고층화, 대형화, 특수화되어 가고 있는 추세이다. 한편 건물이 고층화됨에 따라 주차공간을 확보하기 위하여 지하층수가 증가하고 있으며 이로 인하여 시공과정에서 발생하는 굴착에 의한 진동 및 소음, 지하수의 변경때문에 인접건물에 손상을 입혀 주민의 민원을 야기시키고, 더욱이 공기지연, 손해배상 등의 경제적 손실과 함께 사회적 문제를 야기시키는 경우가 많이 발생하고 있다.

현재 국내 건축기술의 수준이 한단계 높아지고 새로운 재료나 공법이 점차 개발되고 있지만, 그 이면의 건설공사 현장에서는 아직 변화되지 않은 설계 및 시공상의 미숙이나 부주의로 인한 각종 하자과 사고가 반복되고 있다.

또한, 실제 건축되고 있거나 현재 사용되고 있는 콘크리트 건물에 하자가 발생되어 보수·보강하는 건물이 연간 수천건에 달하고 있는 실정이며, 이러한 콘크리트 건물의 하자는 설계 또는 시공중에 예측하지 못했거나 소홀히 생각했던 여러가지 원인이 복합적으로 작용하여 나타

나고 있다.

따라서, 콘크리트 건물의 하자원인은 일반적으로 간단하게 밝혀지기가 어려우며, 더욱이 보수 및 보강에 소요되는 막대한 비용, 이에 대한 책임문제, 당사자간의 이해관계 등이 얽혀 있기 때문에 대부분의 건물에서 발생하는 하자가 명료하게 공개되지 못하는 실정이며 앞으로도 쉽게 공개할 수 없을 것으로 사료된다.

따라서, 여기서는 국내의 콘크리트 건물의 구조적 하자원인 및 보수와 안전대책에 대하여 사례를 중점적으로 분석·검토하여 앞으로 동일하자의 반복 발생을 방지하기 위한 참고자료를 제시하고 한다.

## 2. 건축물의 구조적 하자 및 원인

### 2.1 건축물의 하자 종류

대한건축학회 및 기타 기관에서 1978년부터 1988년까지 약 10년간 조사연구한 구조안전진단 건물 약 103여동의 건물에 대한 자료를 분석검토한 자료에 의하면 구조물의 하자종류를 크게 다음과 같이 2가지로 분류하고 있으며, 구체적인 내용은 표 2.1 및 2.2에 나타내었다.

#### (1) 진단종류별 하자의 종류

- ① 건물사용중 하자 발생
- ② 건물의 일부 철거
- ③ 증축
- ④ 벽체균열
- ⑤ 인접대지 지하공사로 인한 피해
- ⑥ 지하실 누수
- ⑦ 시공중 사고
- ⑧ 화재 또는 가스 폭발
- ⑨ 기타

#### (2) 하자원인별 종류

- ① 구조계산에 대한 사항
- ② 설계도서에 관한 사항
- ③ 시공에 관한 사항
- ④ 기타

그리고 일본의 사례를 중심으로 하자의 종류를 분류해 보면,

- ① 균열
- ② 슬래브 및 보의 변형
- ③ 중성화에 의한 철근 부식
- ④ 연약지반에 의한 기초 등의 계문제
- ⑤ 상기 4가지 항목과 관련한 우수 및 누수
- ⑥ 화재나 가스폭발사고(재해적인 것)

이 중에서도 균열에 관련된 것이 대부분이며, 균열대책이 설계상, 시공상, 건물의 보수관리상 가장 절실한 부분이라고 생각된다. 특히 균열은 2차적인 하자, 즉 우수나 누수는 거주상 지장을 주며 또한, 철근을 부식시켜 구조물의 수명을 현저하게 단축시키는 요인이 된다. 따라서 여기에서는 구조체뿐만 아니라 모르타 및 타일 등 직접 구조체를 보호하는 마감공사로 준구조체로 간주하여 기술하고자 한다.

표 2.1 진단 종류별 하자의 종류

하자의 종류	하자 건수(%)	비 고
건물사용중 하자 발생	32.9	하자 건수
건물 일부 철거	2.6	총 103건
증 축	2.2	
벽 체 균 열	3.9	
인접대지 지하공사로 인한 피해	29.8	
지하실 누수	10.6	
시공중 사고	1.3	
화재 또는 가스폭발	1.3	
기 타	15.4	
합 계	100	

# 안전기술 1

표 2.2 하자원인별 종류

종류	하 자 원 인		예 방 대 책 및 내 용	
구 조 계	과하중	평지붕 마감하중 증가	하중 산정을 신중히 고려	
		칸막이 벽체 추가 설치	구조계산시 추가 또는 변경될 가능성이 있는 곳에서는 이를 구조계산시 반영	
		옥상 물탱크실의 하중 산정 잘못	물탱크실의 하중은 물탱크가 실의 어느 곳에 위치해도 안전하게 여유있는 하중으로 산정	
		옥외 주차장 적재하중 증가	지하실 상부의 옥외 주차장은 대형차량의 진입 가능성에 대비	
		실용도 변경(옥상 정원)	옥상정원의 설치여부를 반드시 확인	
계 산 에 관 한 사 항	응력해석의 미비	구조 해석의 약산	건물의 규모에 관계없이 구조계산 실시	
		지나친 약산	건물의 규모에 관계없이 모든 골조에 대하여 구조계획과 구조계산 실시	
관	구조 해석의 오류	여러 규준의 혼용	부분적으로 다른 규준을 이용할 경우 주규준과 상호관계를 면밀히 검토	
		편심기초	편심기초 설계시 반드시 전도모멘트와 전단력을 산정하고, 연결지중보 설치	
한	지반 조사 미비	서로 다른 기초 혼용	동일건물에는 같은 종류의 기초사용 요망 부득이한 경우 익스팬션조인트 설치	
		지반조사 없이 가정	설계 전 반드시 지반조사 실시하여 안전측에 역점을 두어 지하 구조 설계요망	
사	변 동 미대비	지반조사 결과 잘못 해석	지반조사 기술자는 설계자가 쉽게 적용할 수 있도록 분석하여 지하 구조물 안전성에 큰 비중을 둬	
		지하수위	지하수위 없는 경우	내수관은 수압이 없을 때도 견딜 수 있게 고려(지하수위의 판단이 애매할 때)
		지하수가 예상보다 많은 경우	상수위 산정은 설계시 면밀히 조사, 주변지형과 토지이용에 다각적 분석	
항	기타	수직증축	설계시 증축여부 잘 판단. 증축시 정밀한 검토 후 시공	
		익스팬션조인트	건물길이 50m 이상이면 수직 익스팬션조인트 설치. 평면형태가 부정형인 경우 익스팬션조인트 설치	
설 계 도 서 에 관 한 사 항	시공에 부족한 설계도면	배근 상세도가 부족한 경우	철근가공, 조립 및 배근에 관한 상세도 첨부	
		철골 가공 및 조립도가 부족한 경우	현장 가공 및 조립의 이음위치, 부재치수, 매립부 상세 등 상세도 필요	
관	특기 시방서	일반 시방을 복사한 특기시방서		
		재질 제시가 없거나 구조계산서 다른 경우		
한	도서의 시공 불일치		건축 상세도면, 구조도면, 전기설비도면 및 냉난방설비도면 상호연관성 고려	
		설계도면과 시공에 현저한 차이가 있는 경우	설계도면과 변경 시공도면 작성하여 보관	

종류	하 자 원 인		예 방 대 책 및 내 용
시공	재질의 부족	콘크리트 강도 저하	운반거리, 지연타설, 기수 등으로 강도가 저하되므로 특별히 감독
		철근의 강도별 구분이 없음	
		강재의 강도별 구분이 없음	
에	시공의 정밀성	배근 위치 부정확	배근 이음은 설계도면과 일치하나 위치 부정확, 슬래브 캔틸레버보, 내력벽, 옹벽, 기둥 등에서 심함
		강재의 현장 가공 및 조립 부정확	부재단면치수 정확한 시공 요구
관	거푸집 존치기간 단축		충분한 존치기간 유지
사	가설재의 절약으로 붕괴		가설재는 하나의 구조물이므로 불완전한 구조가 되지 않게 구조체 형성
		과다한 시공하중 작용	공사비와 구조체의 안전과 밀접한 관계이면서 상반되는 것이므로 충분한 고려(시공시)
기	비구조체인 벽돌벽체의 균열		
		방수층의 균열로 누수	방수층 자체 결함 구조체 균열로 방수층 파괴
타	인접건물의 지하공사로 생기는 하자	지하수위 변동	하강한 경우 상승한 경우
		인접건물 공사의 진동으로 인한 하자	파일향타의 진동으로 인한 하자
	인한 하자	흙막이용 어스커앵커 공사의 진동	공사비는 약간 상승해도 인접건물에 피해를 주지 않는 공법 선택. 공사시 더욱 세밀한 검토

## 2.2 건축물의 구조적 하자원인

### 2.2.1 균열발생 원인과 특징

콘크리트 건축공사에서 일어나는 균열발생의 원인을 개략적으로 살펴보면 다음과 같고, 콘크리트 구조물의 특성상 발생될 수 있는 균열의 구체적인 내용은 표 2.3에 나타내었다.

#### (1) 거푸집의 조기 탈형

거푸집의 운용을 빨리 하기 위하여 소정의 존치기간을 무시하고 지주를 조기에 제거함으로써 콘크리트 소요강도가 별현되기 전에 균열이 발생한다.

#### (2) 시공의 서두름

펌프공법 사용시 타설속도를 빠르게 하기 위하여 물의 양을 증가시킨 경우, 충분한 다짐이 부족한 경우, 또는 잘못된 배근의 수정 없이 콘

# 안전기술 1

크리트가 타설되어 균열의 발생을 촉진시킨다.

(3) 양질의 골재 부족

양질의 잔골재를 구하기가 힘들기 때문에 해사가 많이 사용되고 있다. 이러한 해사를 사용할 때에는 설계 및 현장감리에 세심한 주의가 필요하다.

(4) 양생부족

콘크리트는 타설시의 기상현상에 크게 영향을

받는다. 동절기 및 하절기의 특수 콘크리트, 그리고 특히 강풍시에는 배합·운반은 물론 양생에 대해서 사전에 충분히 시방서를 검토하여야 한다.

(5) 기타

설계하중보다 훨씬 큰 적재하중이 작용되는 경우가 있다.

표 2.3 균열의 원인과 특징

구분	균열의 원인	균열의 특징
A. 콘크리트의 재료적 성질에 관계된 사항	A1 시멘트의 이상 응결	폭이 크고 짧은 균열이 비교적 빨리 불규칙하게 발생
	A2 콘크리트의 침하 및 블리이딩(bleeding)	타설후 1-2시간에서, 철근의 상부와 벽과 상판의 경계 등에서 종종 발생
	A3 시멘트의 수화열	단면이 콘크리트에서, 1-2주간 지난 후부터 직선상의 균열이 대략 등간격으로 규칙적으로 발생, 표면만의 것과 부재를 관통하는 것이 있다.
	A4 시멘트의 이상팽창	방사형의 그물모양의 균열
	A5 골재에 함유되어 있는 이분	콘크리트 표면의 건조에 따라서 불규칙하게 강상의 균열이 발생
	A6 반응성 골재 또는 풍화암의 사용	콘크리트 내부부터 거북이등 모양으로 발생, 다습한 곳에 많다.
	A7 콘크리트의 경화·건조 수축	2-3개월 후부터 발생하고 점차에 성장. 개구부나 기둥보로 둘러싸인 모서리에 경사균열이, 세장한 균열이 상판 보 등에서 등간격으로 수직하게 발생
B. 시공에 관계된 사항	B1 혼화재의 불균일한 분산	팽창성인 것과 수축성인 것이 있어 부분적으로 발생
	B2 장시간의 비비기	전면에 그물모양 또는 길이가 짧은 불규칙한 균열이 발생
	B3 펌프 압송시의 시멘트량·수량의 증가	A2와 A7의 균열이 발생하기 쉬움
	B4 타설순서의 실수	B7과 B8의 원인이 됨
	B5 급속한 타설속도	B9과 A2의 균열이 발생하기 쉬움
	B6 불충분한 다짐	표면에 곰보가 생기기 쉽고, 각종 균열의 기점이 되기 쉽다.
	B7 배근의 이동, 철근의 피복두께 감소	슬래브에서는 주변에 따라 원형으로 발생 배근·배관의 표면에 발생
	B8 이음처리의 부정확	이음부분에서 균열이 생김
	B9 거푸집의 변형	거푸집이 움직인 방향으로 평행하게 부분적으로 발생
	B10 누수(거푸집이나 지반으로부터)	
	B11 거푸집 지지틀의 침하	상판과 보의 단부상방 및 중앙부 하단 등에 발생
	B12 거푸집의 조기제거	콘크리트 강도부족에 의한 균열, A7의 영향도 크게 됨
	B13 경화전의 진동과 재하	D의 외력에 의한 균열과 동일

구 분	균열의 원인	균열의 특징
B. 시공에 관계된 사항	B14 초기양생중의 급격한 건조	타설 직후, 표면의 각 부분에 짧은 균열이 불규칙하게 발생
	B15 초기 동해	가느다란 균열, 탈형하면 콘크리트면이 하얗게 됨
C. 외적 요인에 관계된 사항	C1 환경온도·습도의 변화	A7의 균열과 유사. 발생한 균열은 습도 변화에 따라 변동
	C2 부재양면의 온·습도차	저온측 또는 저습측의 표면에 휨 방향과 직각으로 발생
	C3 동결·융해의 반복	표면이 부풀어 올라서 부슬부슬 떨어지게 됨
	C4 동상	D의 외력에 의한 균열과 같은 상태
	C5 내부 철근의 녹	철근을 따라 큰 균열이 발생, 피복 콘크리트가 박리하고 녹이 유출됨
	C6 화재·표면가열	표면 전체에 가느다란 거북이등 모양의 균열이 발생
	C7 산·염류의 화학작용	표면이 침식되고, 팽창성 물질이 형성되어 전면에 균열이 발생
D. 하중에 관계된 사항	D1 하중(설계하중 이내의 경우)	주로 휨하중에 의해 보나 슬래브의 인장측에 수직으로 균열이 발생
	D2 하중(설계하중을 초과하는 경우)	D1 또는 D3와 같은 형태의 균열이 발생
	D3 하중(주로 지진에 의한 경우)	전단하중에 의해서 기둥·보·벽 등에 45° 방향으로 균열이 발생
	D4 단면·철근량 부족	D1과 D2와 같은 형태, 상판과 처양 등에서 처진 방향으로 평행한 균열이 발생
	D5 구조물의 부동침하	45° 방향에 큰 균열이 발생

2.2.2 부동침하의 원인

자료 부족으로 인하여 본래 말뚝기초로 계획한 곳을 직접기초로 한 경우 말뚝기초와 직접기초 등 서로 다른 기초를 병용한 경우, 말뚝항타

개소의 오차, 현장 항타 말뚝의 최하단부의 진흙(Slime) 등의 처리불량 등으로 부동침하가 발생하며 표 2.4에 부동침하 원인을 나타내었다.

표 2.4 부동침하 원인

종 류	항 목	
건물의 부동침하	직접기초	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건물하중의 불균형, 지반의 불균형 또는 과도한 지내력을 채택한 경우 어떤 이유에 의해 건물 각 위치에서의 침하상태가 다를 때</li> <li>- 건물일부가 암반 위에 다른 부분이 성토 부분에 있을 때</li> <li>- 지진시의 액상화(포화모래층에 위치)</li> </ul>
	다른종류의기초	- 동일 건물에 지지말뚝과 마찰말뚝을 겸용하거나 침하상태가 다른 말뚝을 채용할 때 또는 이질기초 사용시
	마찰말뚝	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 건물하중의 불균형, 지반의 불균일 또는 Pile 길이의 부족에 의해 건물 각 위치에 있어서 침하상태가 다를 때</li> <li>- 주변부의 지반굴착의 영향을 받아 굴착부 인접부의 침하</li> <li>- 지진시의 액상화</li> </ul>
	지지말뚝	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 시공불량: 시공중에 Pile이 절단, 용접부 불량, 일부 Pile의 길이 부족, 지지층까지의 근입 부족, Slime 처리 불충분(현장타설말뚝)</li> <li>- Negative Skin Friction 발생에 의한 연직지지력 부족</li> <li>- 수평내력의 부족</li> </ul>
배관류의 절단	- 광역지반침하와 성토하중에 의한 지반의 침하에 의해 지지말뚝을 채택한 건물과 주변부의 지반사이에 부동침하가 일어날 때	