RC 건물의 구조균열 발생원인 분석

남윤오 · 이영섭* · 손기상*
KSM 기술 · *서울산업대학교 안전공학과

1. 서 론

국내 경제성장이 증대함에 따라 철근콘크리트 건축구조물은 다양화, 복잡화, 고층화 되고 있으며 이로 인한 사업의 무리한 추진으로 부실시공 등으로 국내에서는 1970년 4월 서울마포의 와우아파트 붕괴사고, 1995년 6월 삼풍붕괴 사고 등 크고 작은 사건 및 사고로 인한 막대한 재산과 고귀한 생명의 손실 등이 사회적인 문제로 대두되면서 건축물의 유지관리 및 안전진단 등에 대한 중요성이 부각되기 시작했다. 이렇게 크고 작은 사고들이 많이 발생함에 따라 기술인 들이 피땀 흘려 건설된 공공시설을 불신하게 되면서 건설공사중인 현장과 사용중인 시설물에 대해서 법으로 규제사항을 강화하거나 새로운 내용이 신설되고 있는 실정이며 전국 중요 시설물에 대한 유지 관리 업의 중요성이 대두되고 있는 실정이다.

따라서 철근콘크리트 구조물의 기능 및 중요성을 올바르게 인식하여 구조물의 계획, 설계, 시공, 준공후 유지관리시 적절한 안전대책을 각 단계별로 수립한다면 기능 및 사용상 그리고 안전상에 문제점은 발생하지 않을 것이다.

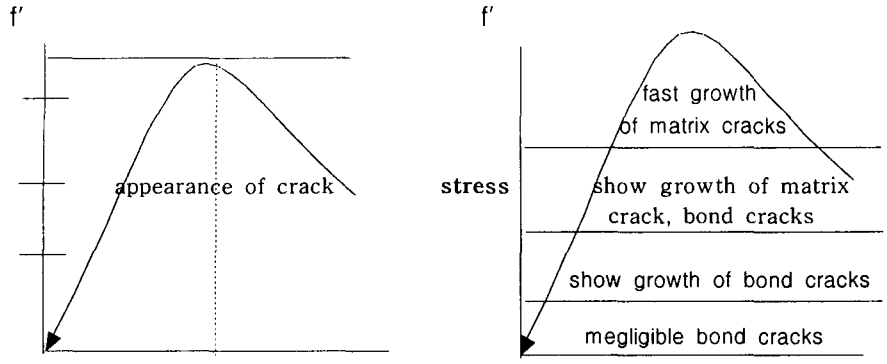
본 논문은 상기내용을 중심으로 최근 4년간 실시한 안전진단 실시대상 시설물중 구조재해석을 실시한 정밀안전진단 가운데 사용중인 철근콘크리트 구조물의 균열발생을 단계별의 원인 및 요인별로 분석하고 이에 따른 기술적인 개선대책을 제시하여 시설물의 안전상에 기여하는데 본 연구의 목적을 두었다.

2. 균열발생의 Mechanism

콘크리트구조물의균열발생 mechanism은 재료의 응력-변형율 관계 및 구조물의 하중-변위 관계로부터 정의하는 것이 일반적이다. 그림2.2은 인장과 압축을 받는 콘크리트의 응력-변형율 관계에 대응되는 균열특성을 도시한 것으로, 실험자료에 의하면 인장변형율이 0.00005~0.0001에 도달할 때 재료에 분포하고 있는 미세균열이 실제균열로 성장하기 시작하는 것으로 보고되고 있다. 이 값을 균열폭으로 환산할 경우, 구조형태 및 크기에 따라 다소 상이하나 근사적으로 0.05~0.1mm 범위의 균열폭에 대응하는 것으로 판단된다.

콘크리트중의 철근의 녹은 콘크리트 표면으로부터 침투한 부식성 폐액에 의한 것과 콘크리트에 발생된 균열을 통해 침투한 습기, 탄산가스등에 의한 것으로 대별되며, 콘크리트 구조물의 내구성에 중요한 문제가 된다.

위와 같은 원인에 의해 철근에 녹이 발생하면 부피팽창에 의해 콘크리트에 균열이 발생하며, 이 균열을 통해 철근부식이 증가되어 2차적인 균열을 일으키게 된다. 철근의 부식을 억제하기 위해서는 물시멘트비를 작게하고 밀실한 콘크리트로 하며, 피복두께를 충분히 하고 염화물이 함유된 골재를 사용하지 않아야 한다. 또한, 에폭시로 피복되어 있거나 아연도금된 철근을 사용한다



(a) tension (b) compression

Fig1. Relationship between strain and stress of the concrete structure

3. 안전진단 조사

3.1 조사대상물 현황

H협회, K사 등 안전진단기관에서 조사된 균열발생 사례를 중심으로 정밀안전진단을 1997년 1월부터 2000년 5월까지 실시한 총65개 동 철근콘크리트조 건축물을 통계적으로 조사, 분석하여 구조적 균열발생의 요인과 원인을 파악하였다.

Table1. 정밀안전진단 대상 시설물 현황

구분	지역	진단년도	용도	구조형식	의뢰자	비고
1	서울	1997년 6월경	교육시설	라멘조	S교육청	
2	대구	1997년 6월경	근린생활	라멘조	D시공회사	
3	제주	1997년 7월경	금고실	라멘조	G은행	
4	서울	1997년 5월경	주거시설	벽식R.C조	S관리사무소	아파트
5	경남밀양	1997년 8월경	업무시설	라멘조	G은행	
6	서울	1997년 7월경	주거시설	라멘조	G시공사	단독두택
7	서울	1997년 7월경	주거시설	라멘조	S시공사	단독주택
8	경기성남	1997년10월경	주거시설	라멘조	건물주(개인)	단독주택
9	제주	1997년 9월경	교육시설	라멘조	교육청	
10	인천	1997년 7월경	공장	라멘조	건물(Y회사)	
11	서울	1997년10월경	교육시설	라멘조	건물주(H문화센타)	
12	경기안양	1997년 9월경	근린생활	라멘조	건물주(H회사)	
13	서울	1997년 7월경	근린생활	라멘조	건물주(개인)	
14	대전	1997년 6월경	교육시설	라멘조	건물주(C대학교)	
15	경북포항	1997년 8월경	주거시설	벽식R.C조	건물주(개인)	아파트
16	충북충주	1997년10월경	교육시설	라멘조	S시공사	

구분	지 역	진단년도	용 도	구조형식	의뢰자	비고
17	서울	1997년 7월경	업무시설	라멘조	건물주(L회사)	
18	경기오산	1997년 8월경	근린생활	라멘조	건물주(개인)	
19	경북청도	1996년 11월경	주거시설	라멘조	건물주(개인)	숙박시설
20	서울	1997년 1월경	근린생활	라멘조	H시공사	
21	경기부천	1997년 2월경	종교시설	라멘조	건물주(S교회)	
22	제주	1997년 3월경	교육시설	라멘조	교육청	
23	경기용인	1997년 2월경	공장	라멘조	건물주(H회사)	
24	서울	1997년 1월경	업무시설	라멘조	건물주(B공제조합)	
25	경기고양	1997년 3월경	종교시설	라멘조	건물주(S교회)	
26	강원삼척	1997년 2월경	교육시설	라멘조	교육청	
27	경북울진	1997년 2월경	주상복합	라멘조	I시공회사	
28	전북군산	1997년 3월경	업무시설	라멘조	건물주(G은행)	
29	경기안산	1997년 1월경	공장	라멘조	건물주(H회사)	
30	서울	1997년 2월경	업무시설	라멘조	건물주(G회사)	
31	서울	1997년 2월경	업묵시설	라멘조	건물주(B회사)	
32	대전	1997년 12월경	교육시설	라멘조	건물주(G학교)	
33	경기안양	1997년 1월경	업무시설	라멘조	D구청	
34	서울	1997년 3월경	공장	라멘조	건물주(H회사)	
35	인천	1997년 3월경	교육시설	라멘조	N교육청	
36	경기용인	1998년 5월경	업무시설	라멘조	H시공회사	
37	경기용인	1998년 7월경	근린생활	라멘조	건물주(H회사)	
38	강원원주	1998년 7월경	주거시설	벽식RC조	J시공회사	
39	인천	1998년 8월경	근린생활	라멘조	N시공회사	
40	서울	1998년 11월경	업무시설	라멘조	C경호실	
41	서울	1998년 12월경	근린생활	라멘조	건물주(D회사)	
42	경기일산	1998년 11월경	주차시설	라멘조	G시공회사	
43	강원화천	1998년 3월경	업무시설	라멘조	G면사무소	
44	경기수원	1998년 11월경	업무시설	라멘조	건물주(H회사)	
45	서울	1998년 11월경	판매시설	라멘조	J구청	
46	충남금산	1998년 10월경	교육시설	라멘조	건물주(개인)	
47	충북혼성	1998년 12월경	업무시설	라멘조	건물주(G비행단)	
48	서울	1998년 3월경	주거시설	벽식RC조	건물주(개인)	아파트
49	경남남해	1998년 3월경	교육시설	라멘조	건물주(H학원)	
50	서울	1998년 3월경	주거시설	벽식RC조	건물주(개인)	아파트
51	경남울산	1998년 4월경	업무시설	라멘조	건물주(B회사)	
52	강원속초	1998년 4월경	대피시설	라멘조	S시청	
53	경기성남	1998년 5월경	근린생활	라멘조	건물주(개인)	

구분	지역	진단년도	용도	구조형식	의뢰자	비고
54	강원속초	1998년 5월경	교육시설	라멘조	건물주(H은행)	
55	대전	1998년 5월경	주차시설	라멘조	L시공회사	
56	서울	1999년 3월경	교육시설	라멘조	건물주(학교)	
57	충남논산	1999년 4월경	교육시설	라멘조	C교육청	
58	경기일산	1999년 2월경	의료시설	라멘조	T시공회사	
59	서울	1999년 4월경	판매시설	라멘조	D관리사무소	
60	경기부평	1999년 5월경	주차시설	라멘조	G시공회사	
61	경기이천	1999년 9월경	주거시설	벽식RC조	건물주(I회사)	아파트
62	경기안산	2000년 2월경	공장	라멘조	건물주(T회사)	
63	서울	2000년 5월경	업무시설	라멘조	P시공회사	
64	인천	2000년 2월경	주차시설	라멘조	P시공회사	
65	서울	2000년 3월경	주차시설	라멘조	H시공회사	

3-2. 균열발생원인 및 분석

철근콘크리트조 건축물에 발생된 균열은 대부분 복합적 원인 에 의해 발생한다. 본 연구에서는 구조적인 균열을 발생시키는 복합적인 요인 중 설계, 시공, 준공 후 유지관리를 중심으로 조사, 분석하였으며 그 내용은 표3.2와 같다.

Table2. 콘크리트 구조물의 균열발생 원인 분류

균열의요인	균열의 원인	균열의 세부요인
계획측면	계획오류	지질상태파악미비, 지형선정미비
설계측면	구조의 부적당	구조형식불량, 지간분할등의 부적당 단면형상의 부적당
	계산오차	설계기준 및 조건의 적용오차, 거시적 안전도 검토부족, 응력해석의 오차, 계산착오 및 누락
	단면 부적당	철근,PC강재의 배치불량, 구조세부의 검토불량 철근의 부족, 단면형상,치수의 부족
시공측면	재료불량	콘크리트의 품질불량, 철근,PC강재의 재료불량 부적당한 재료의 사용
	시공불량	시공방법,순서의 오차, 작업원의 기술부족 가설공(거푸집,지보공)의 검토부족 시공관리의 불량 및 오류 재료저장 방법의 오류, 미시공 및 상이시공 복토두께 설계기준초과
준공후유지 관리측면	관리불량	과하중 방치, 점검미비 부적절한 구조변경,부적절한 용도변경 노후화 방치, 보수 및 보강 미실시
기타측면	관리불량	화재발생
	인접지하굴착작업	지하수유출,흙막이 변위

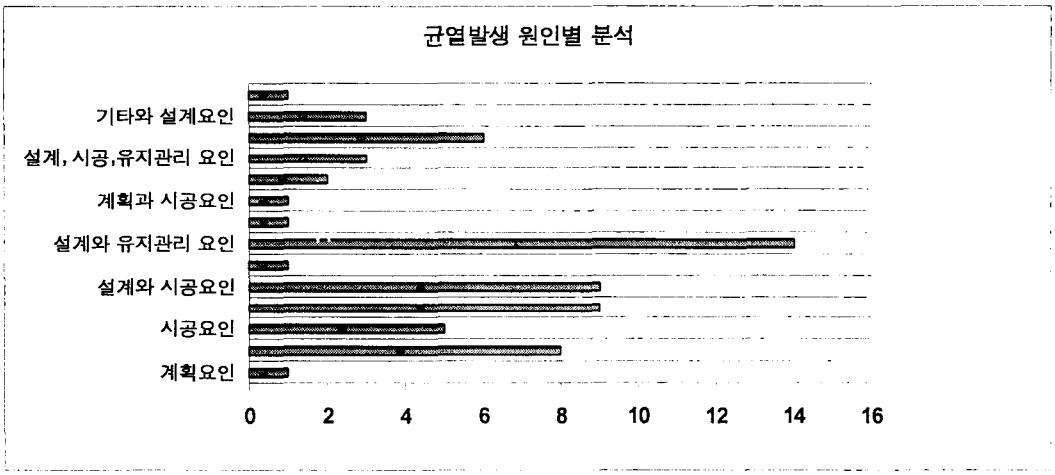


Fig2. 균열발생 요인별 분석

상기 내용의 요인중 주로 균열발생은 단독요인보다는 복합적인 요인에 의해서 많이 발생되는 것으로 조사되었으며, 단독요인으로 볼 때는 유지관리요인(13.8%), 설계요인(12.3%), 시공요인(7.7%) 순으로 균열발생이 많이 발생하였으며, 중복요인으로 볼 때는 설계와 유지관리(21.5%), 설계와 시공(13.7%)순으로 균열을 많이 발생하는 것으로 조사되었다.

Table2. 철근콘크리트조 균열발생 세부원인별 분석

구 분	균열의 원인	균열의 세부요인	조사수	합계
계획측면	계획오류	지질상태 파악 미비	5(7.7%)	5(7.7%)
설계측면	구조 부적당	구조형식불량(지간분할부적당포함)	4(6.2%)	38(55.4%)
	계산오차	설계기준 및 조건의 적용오차와 응력해석의 오차	16(24.6%)	
	단면 부적당	철근의 부족과 단면형상,치수의 부족	16(24.6%)	
시공측면	시공불량	시공방법 오류	4(6.2%)	19(29.2%)
		기준두께 부족	6(9.2%)	
		미시공 및 상이시공	3(4.6%)	
		복토두께 설계기준초과	6(9.2%)	
유지관리 측면	관리불량	과하중 방치	8(12.3%)	30(46.2%)
		부적절한 구조변경	3(4.6%)	
		부적당한 용도변경	5(7.7%)	
		보수□보강 미실시	14(21.5%)	
기타측면	관리불량	화재발생	3(4.6%)	10(15.3%)
	지하굴착작업	지하수 탈수,흙막이 변위	7(10.7%)	
합 계			65개동	

상기 내용과 같이 균열발생의 중복요인을 분리하여 단독요인으로 분석한 결과 설계요인(55.4%), 유지관리요인(46.2%), 시공요인(29.2%), 기타요인(15.3%), 계획요인(7.7%) 순으로 균열이 많이 발생시키는 것으로 나타났다.

4. 분 석

1) 계획요인: 정밀안전진단결과에 의한 통계 분석결과 계획요인은 7.7%로 주로 지질 상태 미실시 또는 내용미비로 인한 구조체의 부동침하 및 기초침하로 구조체에 균열이 발생되는 것으로 조사되었다.
2) 설계요인: 정밀안전진단을 통해 분석한 철근콘크리트 건물의 구조상태는 장 SPAN설계에 의한 구조 부적당(6.2%), 응력 해석의 오차(24.6%), 단면□ 철근부족(24.6%)에 의해 균열이 발생된 것으로 조사되었다. 이는 발주처 및 건물주의 설계비용의 저감에 따른 안전율 저하 및 무리한 설계변경에 의해 발생되는 것으로 조사되었다.
3) 시공 요인: 균열발생원인 중 시공요인은 시공당시 작업과정을 보고 결함원인을 분석하여야 하나 이미 완료된 상태에 있었기 때문에 비파괴 조사에 의한 결과 내용과 육안검사로 시공요인을 분석하였으며, 시공요인에 그 대표적인 예는 다음과 같다.
① 미시공 및 설계도면과 상이 시공(4.6%)
② 복토두께 설계기준 초과(9.2%)
③ 기준두께 부족(9.2%)
⑤ 부적절한 철근배근 및 피복두께 부족(6.2%)
4) 준공후 유지관리요인: 정밀안전진단을 통해 분석한 결과 준공 후 유지관리상에 나타난 문제점은 건물주가 건물에 발생되어 있는 결함상태를 보수□보강 미실시(21.5%)로 그대로 방치하면 그 결함상태가 더 심화되어 내구력이 저하된다. .

5. 결 론

균열발생원인을 통계 분석한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.
1) 시설물의 계획은 현장조건에 적합한 지형선정 및 지질조사실시와 인접 구조물이나 하천이용, 교통 등에 영향을 주지 않도록 관련법규에 명시한 건축한계나 시설물의 크기 등을 검토해야한다.
2) 설계단계부터 근본적인 안전대책이 수립되어야 하므로 발주처는 적정한 설계비용을 책정하여 안전율이 부족하지 않도록 하여야 한다.
3) 건설공사는 시공방법의 오류, 미시공 및 상이 시공, 설계기준을 초과하는 복토두께 등에 의해서 균열이 많이 발생되므로 작업자의 기술능력 지향, 관리자는 작업자가 시방서에 제시된 대로 시공한 지를 관리할 수 있는 관리능력을 높아야 한다.

참고문헌

1) 형설 출판사, "건축□토목 구조물의 구조안전진단", 정묘년. p.180~190
2) 한국건설기술정보원, "건축물유지관리□진단□보수□보강지침", 1999. 7. 5, p.285~298
3) 대한건축사협회, "구조진단을 통해 본 건물의 하자예방 대책", 1996. 7, p.5~23