

철근콘크리트조 아파트구조물의 노후도실태조사에 의한 노후화 요인 분석·평가에 관한 연구

A Study on the Analysis and Evaluation of Deterioration Factors for the Structure of Reinforced Concrete Apartment According to Actual Condition Survey

	강석표 [*]	김규용 [*]	권영진 ^{**}
	Kang, Suk-Puo	Kim, Gyu-Yong	Kwon, Young-Jin
정성철 ^{***}	이덕찬 ^{****}	송병창 ^{****}	김무한 ^{*****}
Jung, Sung-Chul	Lee, Duck-Chan	Song, Byung-Chang	Kim, Moo-Han

ABSTRACT

The concrete structures are hardly ever built under ideal conditions, So many defects may occur for a various reasons such as unsuitable and defective materials, construction methods, poor workmanship, particular structural form and prevailing weather conditions. Some structural form can greatly increase the risk of occurrence of defects.

Therefore we investigated the actual condition of the deterioration factors for reinforced concrete apartment, which was composed of 85 apartments with various building ages in different regions regions with five evaluation items. It is the aim of this study to analyze and evaluate the deterioration factors of apartment building to establish the overall evaluation system of deterioration degree for reinforced concrete apartment in Korea.

키워드 : 노후화, 실태조사, 균열, 비파괴검사, 철근부식, 염화물, 중성화

Keyword : Deterioration, Actual condition survey, Reinforced concrete, Apartment housing

1. 서론

현대의 산업사회가 발달됨에 따라 건축구조물은 고층화, 대형화 및 고기능화가 요구되고 있고, 최근 건설활동이 활발해지면서 이러한 고성능의 건축생산량도 막대하게 되었다. 특히, 인구의 도시집중화, 지가(地價)의 상승 등에 따른 토지의 이용률을 극대화하기 위하여 건축구조물의 고층화 경향은 피할 수 없는 추세가 되었다. 그러나 이와 같은 막대한 양의 건축구조물에 대하여 유지 및 관리가 이루어지지 않을 경우 건축구조물의 노후화 속도가 빠르게 되고, 과대한 손상을 입은 후에는 광범위한 보수·보강이 이루어져야 하며, 이에 따른 비용도 막대하게 되기 때문에 건축구조물로서 기능 및 성능의 저하뿐만 아니라 경제적 가치도 저하되어 건축물로서의 사용년수가 매우 단축될 가능성이 크게 된다.^{1,2)}

* 정회원, 충남대학교 건축공학과 대학원
 ** 정회원, 쌍용엔지니어링, 진단보수팀과장·공박
 *** 정회원, (주) 대우건설차장
 **** 정회원, 주택연구소 선임연구원, 책임연구원
 ***** 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수·공박

본 연구는 1997년 대한주택공사 부설 주택연구소의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

특히 최근 공동주택으로서 철근콘크리트조 아파트의 경우 30년이 채 되지 않은 저층 철근콘크리트조 구조물이 재개발되어 고층아파트구조물로 신축되는 사례가 증가되고 있으며 기존의 철근콘크리트조 고층아파트 구조물도 계속적으로 증가되고 있는 실정에 있어서 합리적인 유지 및 관리시스템 확립의 필요성이 날로 증가되고 있다.

따라서 본 연구는 현재 국내의 철근콘크리트조 아파트의 노후도 실태조사를 행한 후 이에 따른 노후화 요인들을 평가·분석함으로써 공동주택의 종합적 노후도 평가시스템 구축과 보수설계기준의 확립에 기초자료로서 제시하고자 하는데 본 연구의 목적이 있다.

2 실태조사의 범위 및 조사방법

본 연구를 위한 실태조사는 예비실태조사를 3개 지역(부산, 전주, 서울) 8개 아파트단지에서 행한 후 이를 바탕으로 본 실태조사의 측정항목 및 방법을 설정한 후 전국 조사대상 아파트의 개요를 나타낸 그림 1에서와 같이 전국 8개 지역(대전, 군산, 강릉, 서울, 포항, 부산, 여수, 대구)에서 총 42개 단지 85개 동의 철근콘크리트조 아파트를 대상으로 97년 8월 26일부터 11월 6일까지의 기간동안 실태조사를 행하였다. 또한 본 실태조사에서의 조사개소 및 조사방법은 철근콘크리트조의 노후화 요인을 평가하기 위한 기초적인 범위 내에서 표 1과 같이 선정하였다. 즉, 측정항목으로는 균열 및 표면열화, 중성화, 철근부식, 염화물량, 비파괴검사

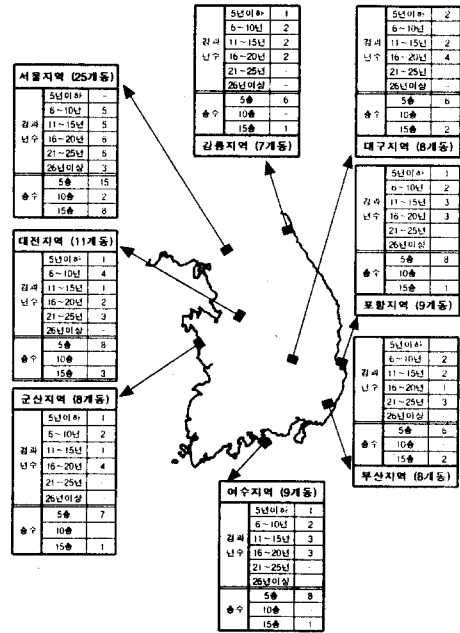


그림 1 조사대상지역 아파트의 개요

표 1 조사개소 및 조사방법

조사항목	조사개소	조사방법	비고
균열 및 표면열화	· 1차 조사결과 그 건축물에서 나타나고 있는 노후화 현상을 대표할 수 있는 소정의 부위 선정	· 균열 폭에 따라 I 단계(균열폭 0.1mm 이하), II 단계(균열폭 0.1~0.4mm), III 단계(균열폭 0.4mm 이상)로 구분하여 각각의 균열길이를 측정하고 그 길이를 100m ² 로의 면적당 발생길이를 환산하여 환산균열길이로 계산	日本コンクリート工學協會 「コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針」
중성화	· 외벽면중에서 노후화부위 및 건전부위를 각각 5점 이상 선정	· 직경 13mm의 드릴을 사용하여 구멍을 뚫은 후 1%페놀프탈레인 용액을 사용한 알콜용액법으로 중성화 측정	日本建築學會 「鐵筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説」
철근부식	· 외벽 면의 구조부재 중 1m ² 를 선정	· 철근부식탐사기(TR-01型)을 이용하여 자연전위를 측정하여 철근부식판정.	日本建築學會 「鐵筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説」
염화물량	· 작업성과 미관손상 방지를 위하여 지하실 콘크리트 일부를 시료로 채취	· 채취된 시료를 실험실로 반입하여 이온 전극법을 이용한 TR-01型를 이용하여 콘크리트내의 염화물량 측정	KS F 4009(레디믹스 콘크리트) 부속서 1(굳지 않은 콘크리트에서 물의 염소이온 농도 시험방법)
비파괴검사	· 노출콘크리트 또는 마감면을 제거하기 용이한 외벽면중에서 2점 이상 선정	· 반발경도 및 초음파를 측정한 후 복합법 및 반발경도법으로 28일 압축강도 추정	日本建築學會 「コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル」

며 각각의 조사방법은 기존의 문헌^{3),4),5)}을 참조하여 실시하였다.

3 실태조사 결과 및 분석

3.1 균열 및 표면열화 조사

그림 2는 조사대상 아파트를 서울지역, 내륙 지방지역(대전, 대구), 해안 근접지역(군산, 강릉, 포항, 부산, 여수)으로 구분하여, 환산균열길이를 나타낸 것으로서, 경과년수 10년 이하의 경우에는 경과년수 20년 내외의 경우와 유사한 수준의 환산균열이 발생되고 있어 균열 발생 및 원인에 대한 정기적인 점검 및 조치가 필요하다고 사료된다.

또한, 내륙지방지역 및 해안 근접지역의 경우 거의 유사한 환산 균열길이를 나타내고 있어 뚜렷한 지역별 경향은 보이지 않고 있는데 이는 환경 조건이 비슷한 지역의 도시일지라도 균열을 발생시키는 요인들이 복합적으로 작용하기 때문에 도시별 환산 균열길이가 다양하게 나타나고 있는 것으로 사료된다. 반면, 환경 및 대기오염이 타 도시에 비하여 상대적으로 큰 서울지역의 경우 보수를 필요로 하는 균열폭 이상의 균열길이가 내륙 지방지역 및 해안 근접지역과 유사하게 나타나고 있는데 이는 서울 지역의 아파트 단지는 다른 도시에 비하여 아파트 유지 및 관리측면에서 상대적으로 양호하였기 때문으로 사료된다.

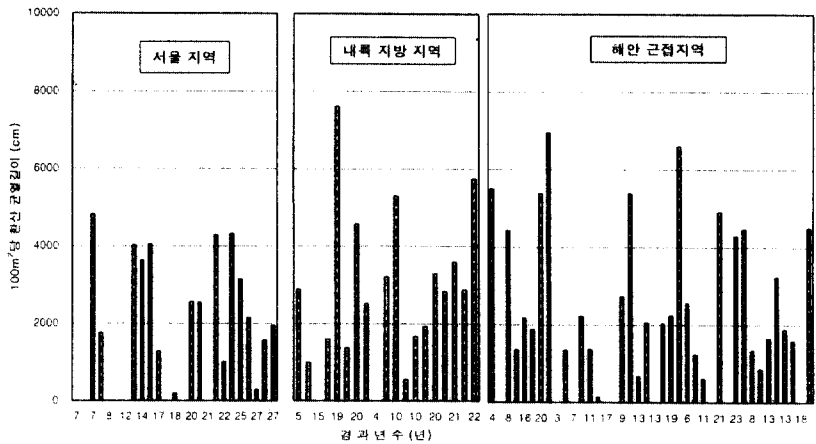


그림 2 각 지역별 환산 균열길이

3.2 염화물 함유량의 실태조사

그림 3은 경과년수에 따른 각 지역별 염화물 함유량을 나타낸 것으로서 전반적으로 KS F 4009에서 규정하고 있는 기준치인 0.3kg/m^3 보다는 적은 염분 량을 함유하고 있는 것으로 조사되었으며 해안 근접지역 및 서울지역이 내륙 지방지역에 비하여 상대적으로 많은 염분량을 함유하고 있는 것으로 나타났으나 대부분 0.3kg/m^3 이하인 것으로 조사되었다. 그렇지만 염분 함유량이 0.3kg/m^3 을 초과하는 5개동에서의 염분함유량은 0.6kg/m^3 내외로 이에 대한 상세 조사가 필요할 것으로 사료된다.

서울지역 및 내륙 지방지역의 경우 서울지역에서만 2개동에서 0.3kg/m^3 을 초과하였고 그 이외의 아파트에서는 기준치 이내인 것으로 나타났다. 특히 내륙 지역에 있어서는 조사 대상 모든 아파트에서 0.1kg/m^3 이하인 것으로 조사되어 염해에 의한 철근콘크리트조 아파트의 노후화 우려는 적은 것으로 판단된다.

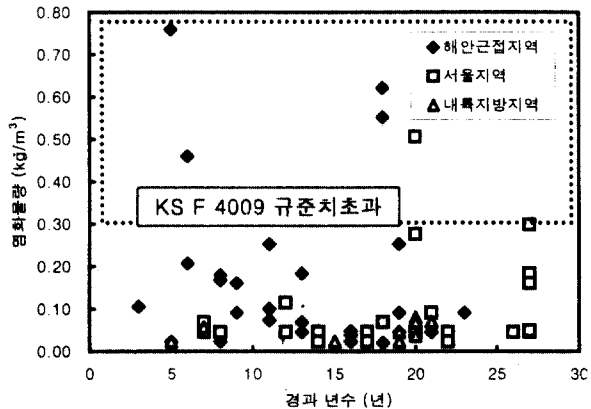


그림 3 경과년수에 따른 각 지역별 염화물 함유량

3.3 중성화 깊이의 실태 조사

그림 4는 각 도시별 평균 중성화 깊이와 도장 백아화를 나타낸 것으로서 중성화 정도가 심한 대구, 포항지역의 도장 백아화는 각각 16.49, 25.33이며, 상대적으로 중성화 깊이가 작은 대전, 군산, 강릉지역의 도장 백아화는 11.31, 7.95, 8.07로써 도장 백아화가 클수록 평균 중성화 깊이는 크게 나타나고 있다.

콘크리트의 중성화는 콘크리트의 품질, 대기중 탄산가스 농도, 지역적 기후, 마감재의 종류 및 품질 등의 영향 인자들이 복합적으로 작용함으로서 일어나지만, 특히 이 중에서 콘크리트 중성화에 대한 마감재의 기능은 중성화에 직접 관여하는 물과 탄산가스의 유입을 막아주는 역할을 하게 되는데 백아화 등의 도장면 노후화로 인하여 그의 역할을 상실하게 됨으로서 콘크리트의 중성화는 가속화된 것으로 사료된다.

그림 5는 조사 대상 아파트를 서울지역, 내륙 지방지역(대전, 대구), 해안 근접지역(군산, 강릉, 포항, 부산, 여수)으로 구분하여 중성화 깊이를 나타낸 것으로서 전반적으로 해안 근접지역이 서울지역 및 내륙 지방지역에 비하여 상대적으로 중성화 깊이가 큰 것으로 나타났다. 한편, 경과년수 10년 이내의 아파트에서는 서울지역 및 해안근접지역에 위치하고 있는 아파트가 내륙 지방지역 아파트보다 중성화 정도가 심한 것으로 나타났으며, 특히 해안 근접지역의 경우 경과년수 7년 이내의 아파트 중성화 깊이는 10mm 이상을 보이고 있어 피복두께를 감안하여 볼 때 콘크리트 내부 철근표면에서부터 중성화 영역까지의 거리는 다른 아파트에 비하여 짧은 것으로 사료된다.

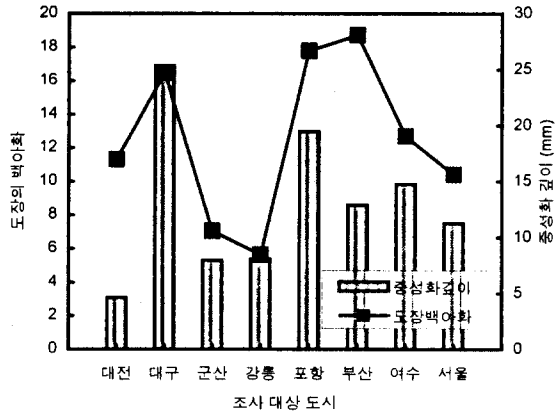


그림 4 각 도시별 평균 중성화 깊이와 도장 백아화

3.4 콘크리트의 비파괴 조사

본 실태조사에서의 콘크리트 비파괴 조사는 저층 및 지하층의 구조체에서 N형 슈미트햄머를 사용한 반발경도, 초음파속도 측정기(PUNDIT)에 의한 초음파속도를 측정하였으며, 본 연구에서 적용한 압축강도 추정식은 표 2에서 보는 바와 같다.

그림 6은 반발도와 복합법에 의한 추정 압축강도를 나타낸 것으로서 표 2에 나타난 각각의 추정식에 의한 추정 압축강도와 복합법에 의한 추정 압축강도를 비교할 때 동일한 반발도에서 추정강도 값의 편차가 크게 나타나고 있

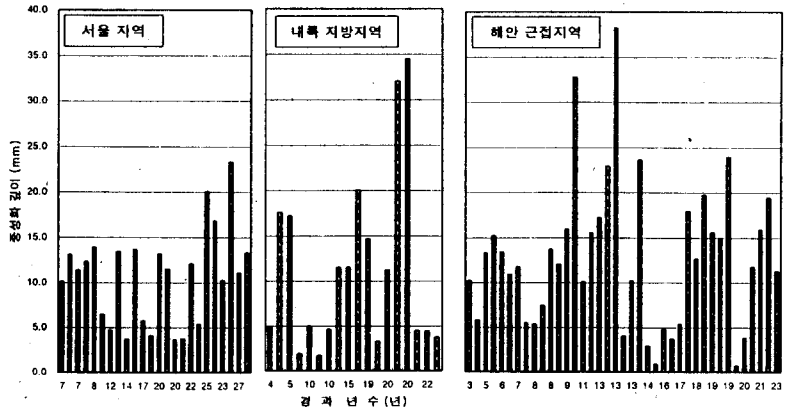


그림 5 각 지역별 경과년수에 따른 중성화 깊이

표 2 압축강도 추정방법 및 추정식

압축강도 추정방법	추정식
반발경도법	
동경건축재료검사소	$F_1 = 10R_0 - 110 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
일본 재료학회	$F_2 = 13R_0 - 184 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
일본 건축학회	$F_3 = 7.3R_0 + 100 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
평균	$F_c = (F_1 + F_2 + F_3) / 3$
복합법	$F_c = 8.2R_0 + 269V_p - 1049$

F : 추정강도 (kgf/cm²)

R₀ : 반발도 (R.N)

V_p : 초음파속도

는데, 이는 복합법 적용시 초음파속도 측정에 있어서 측정방법의 오차, 측정부위의 편차, 계측의 문제 등으로 인한 오차 범위가 매우 컸기 때문이며 초음파속도 측정 방법 및 적용성에 대한 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

그림 7은 각 지역별 반발경도법에 의한 추정 압축강도를 나타낸 것으로서 전반적으로 200kg/cm²로 구조 역학적으로 안정된 것으로 사료된다. 경과년수에 따른 경향은 보이지 않으며 경우에 따라 최근에 축조된 구조물의 추정 압축강도가 오히려 낮은 수준으로 나타나 경과년수에 따라 내구성이 저하되어 콘크리트의 압축강도가 저하되는 현상보다 시공등급 및 품질 정도에 따른 콘크리트의 영향이 더욱 큰 것으로 사료된다.

3.5 자연전위차에 의한 철근의 부식 조사

본 연구에서 적용한 콘크리트 구조물의 철근 부식조사는 철근 부식탐사기(TR-01형)을 이용한 자연전위차로 측정하였으며 그의 평가는 표 3에 나타낸 바와 같이 준ASTM의 기준에 준하여 실시하였다. 그림 8은 경과년수에 따른 평균 자연전위값을 나타낸 것으로서 경과년수에 따른 뚜렷한 경향은 보이지 않고 있으나 경과년수 10년 이내의 아파트에서의 자연전위값은 경과년수에 비하여 낮게 측정되고 있어 콘크리트내부의 철근이 부식되어 있을 확률이 높은 것으로 조사되었다.

표 3 자연전위와 철근의 부식

등급	측정전위의 범위	철근부식의 가능성
I	$0 < E$	거의 100%의 확률로 부식없음
II	$-200 < E \leq 0$	90% 이상의 확률로 부식없음
III	$-350 < E \leq -200$	50% 부식 있음
IV	$-500 < E \leq -350$	90% 이상의 확률로 부식있음
V	$E \leq -500$	거의 100%의 확률로 부식있음

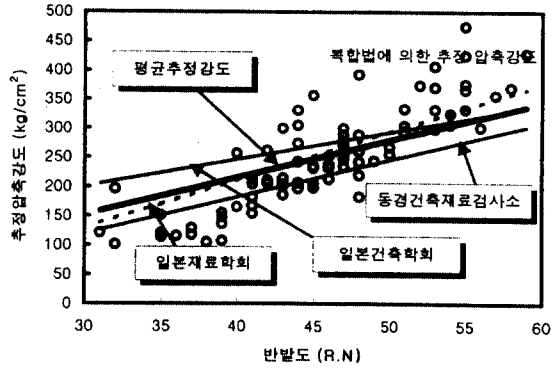


그림 6 반발도와 복합법에 의한 추정압축강도

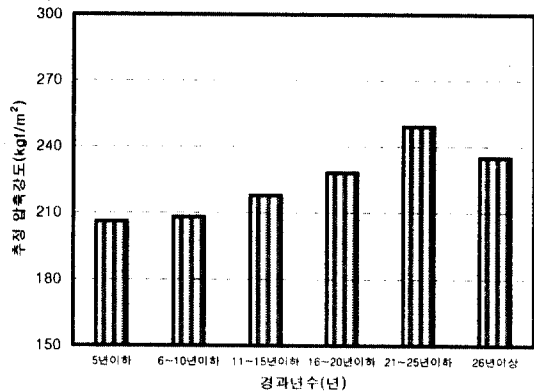


그림 7 각 경과년수에 따른 추정압축강도

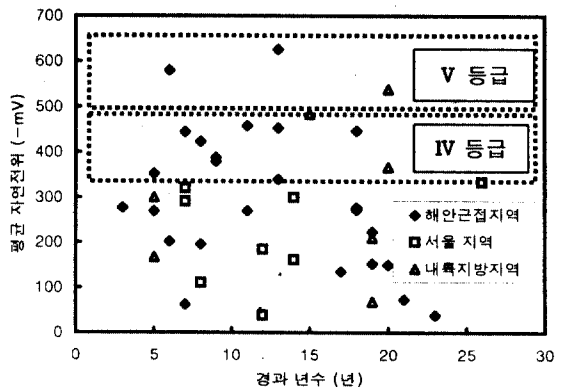


그림 8 경과년수에 따른 평균 자연전위

표 3에 나타난 준ASTM을 기준으로 하여 철근 부식성을 평가하여 보면 -500mV이하의 V등급에서는 거의 100%의 확률로 부식되어 있을 것으로 판단되며 이에 해당하는 조사대상 아파트중 3개동의 아파트에 대하여서는 철근 부식에 대한 상세조사가 필요할 것으로 판단되며, 자연전위 -350mV~-500mV의 IV등급에 해당하는 아파트는 90%이상의 확률로 부식되어 있는 것으로 조사되어 철근 부식 억제를 위한 조치가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결 론

철근콘크리트조 아파트의 노후도 실태조사 및 노후화 요인 평가·분석을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 서울지역, 내륙지방지역, 해안 근접지역에 있어서의 환산균열깊이는 지역별 차이를 보이지 않고 있으며 경과년수가 비교적 짧은 10년 이내 아파트에서의 환산균열깊이가 상대적으로 크게 나타나고 있어 이에 대한 정기적인 점검 및 조치가 필요하다고 사료된다.

2) 조사대상 아파트에 있어서 콘크리트내부에 함유하고 있는 염분함유량은 대부분 KS F 4009에서 규정하고 있는 $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ 이내로 조사되었으나 기준치 이상을 함유하고 있는 아파트 중 특히 해안에 근접하여 위치하고 있는 경우 이에 대한 상세조사 및 적절한 조치가 필요하다고 사료된다.

3) 해안 근접지역의 중성화 깊이는 서울지역 및 내륙 지방지역에 비하여 상대적으로 중성화 깊이가 큰 것으로 나타났으며 경과년수 10년 이내의 아파트에서는 서울지역 및 해안근접지역에 위치하고 있는 아파트가 내륙 지방지역 아파트보다 중성화 정도가 심한 것으로 나타났다.

4) 초음파측정에 있어서 측정방법의 오차 및 측정부위의 편차, 계측에 있어서의 문제점으로 인하여 초음파 및 반발경도를 적용한 복합법에 의한 추정압축강도의 편차는 크게 나타나고 있어 본 실태조사의 압축강도 추정에는 복합법의 사용이 부적당한 것으로 사료되었으며, 반발경도법에 의한 추정압축강도는 $200\text{kg}/\text{cm}^2$ 내외의 양호한 압축강도를 나타내고 있다.

5) 조사대상 아파트의 철근 부식탐사 결과 경과년수 10년 이내 아파트에서의 자연전위값은 경과년수에 비하여 상대적으로 낮게 측정되고 있어 부식확률이 높은 것으로 판단되며 자연전위 -500mV이하의 아파트의 경우 철근 부식에 대한 보수가 필요하다고 사료된다.

6) 조사대상 아파트의 노후화는 환경적인 요인에 따른 영향과 아울러, 사회·기능적인 측면에서의 유지·관리에 따른 영향도 크게 작용되고 있는 것으로 사료되어 철근콘크리트 구조물의 종합적 노후도 평가시스템구축 및 보수설계기준 확립이 시급히 요망된다.

< 참고 문헌 >

1. 日本建築學會, 建築物の耐久計劃に關する考え方, 1988
2. 石塚義高, 建築經濟學のすすめ, 財團法人 經濟調査會, 1994
3. 日本建築學會, 鐵筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診斷および補修指針(案)・同解説, 1997年制定
4. (財)國上開發研究センター, 鐵筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術, 昭和61年5月
5. 日本コンクリート工學協會, コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針, 昭和62年2月
6. 日本建築學會, コンクリート強度推定のための非破壊試驗方法マニュアル, 1983. 2
7. 金武漢 外, 콘크리트 밀실화에 의한 염해대책 및 방청효과에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 논문집, 제 6권, 제1호, pp.142-151, 1994. 5