

# 서울지역 초·중등교육시설 건축물의 구조성능 열화에 관한 연구

## Study on the Reduction in Structural Capacity of the Public Elementary-Middle Educational Facilities in Seoul Area

권기혁\*  
Kwon, Ki Hyuk

한영철\*\*  
Han, Young Cheol

노희일\*\*\*  
Rho, Hee Il

---

### Abstract

The purpose of this study is to improve the safety and the serviceability of the educational facilities constructed with the reinforced concrete structure in Seoul. For achieving that purpose, this paper summarizes damage aspects of public educational facilities in Seoul, and analyzes the causes of damages reducing the structural capacity of concrete structural members.

---

### 1. 서 론

삼풍붕괴 사고이후, 구조물의 안전성에 관한 관심이 높아지면서, 많은 구조안전진단이 행해졌고, 행해지고 있으나, 그 결과를 체계적으로 정리하여 자료화하고자 하는 노력은 거의 없는 상태이다. 그러나, 구조안전진단을 수행하는 데에 있어서 유사한 상황에 대한 자료량의 정도가 진단작업의 기본적 속성을 고려할때, 정확성과 경제성을 크게 좌우하리라 판단된다.

본 연구는 서울에 소재한 초·중등 교육시설 구조물의 구조성능 열화성상을 조사 분석하고 그 원인을 추정하여, 유사 구조물의 안전성 판단에 근거가 되는 유용한 자료를 제시함으로써, 앞으로 건설되는 철근콘크리트 건물의 구조적 안전성을 증진시키고자 하는데 목적이 있다.

### 2. 조사범위 및 방법

---

\* 권기혁, 서울시립대 건축·도시·조경학부 전임강사, 공학박사

\*\* 한영철, 쌍용양회 안전기술사업단, 공학박사

\*\*\* 노희일, 서울시립대 건축·도시·조경학부 교수, 공학박사

## 2.1 구조물의 개요

본연구의 구조안전진단의 대상이 되는 각 구조물의 소재지와 준공연도 및 규모를 표 1에 표시하였다. 또한 대부분의 구조물들이 시공된 이후에 증축공사를 행하였으므로 이에 관한 사항도 표 1에 함께 정리하였다.

표1 구조안전진단 대상 구조물

번호	소재지	준공년	규 모	증축	번호	소재지	준공년	규 모	증축
1	성북구	1968	지상4층	2회	12	관악구	1967	지상4층	1회
2	서대문구	1973	지상4층	2회	13	관악구	1976	지상4층	7회
3	성동구	1963	지상4층	1회	14	동대문구	1964	지상4층	10회
4	중랑구	1973	지하1층, 지상4층	2회	15	동대문구	1967	지상4층	9회
5	노원구	1982	지상2층		16	광진구	1965	지상4층	수회
6	영등포구	1959	3층-5층	3회	17	성동구	1968	지상4층	10회
7	관악구	1989	지하1층, 지상4층	1회	18	동대문구	1970	지상4층	6회
8	영등포구	1963	지상4층, 별관3층	7회	19	성동구	1972	지상4층	9회
9	영등포구	1987	지상4층	2회	20	동대문구	1968	3층	2회
10	성동구	1982	지상5층	2회	21	동대문구	1968	4층	2회
11	구로구	1980	지상4층	2회	22	동대문구	1963	지상5층, 2-3동교사	8회

## 2.2 조사항목 및 방법

구조물의 구조성능열화정도를 평가하기 위해 수행되어진 조사항목과 각 항목에 대한 개략적 조사 방법 및 사용기자재는 다음과 같으며, 구체적 사항은 참고문헌1의 내용을 참조하였다.

- 1) 구조물의 균열상태 : 육안으로 조사하고, 균열폭은 크랙게이지로 측정.
- 2) 콘크리트 강도 : 슈미트 햄머를 이용한 반발경도법과 반발경도법 및 초음파 속도를 이용한 복합법을 적용. 사용기기는 슈미트 햄머 NR형, Ultrasonic Searcher(TR-300).
- 3) 콘크리트 중성화 : 드릴을 이용하여 콘크리트에 홈을 만들고, 페놀프탈레인 1% 용액을 분사하여 중성화 여부를 판정.
- 4) 구조부재 철근배근 및 피복두께 : RC-radar 및 Profometer III를 이용하여 철근의 위치 및 배근 상황을 측정.
- 5) 지 질 조사 : 지반침하 현상이 관찰되어지는 구조물의 지반에 대해 보오링에 의한 지질조사를 행함.

## 3. 조사결과

조사대상 구조물에 대한 균열상태는 표 2와 같다.

표2 구조물의 균열상태

상태	부위	정도	기둥	보	슬래브	계단실	비구조체
0.4mm 이상		극히 심함	2	8	2	4	12
		심함	4	3	4	2	6
		적음	5	3	2	3	3
0.3mm 이하			11	8	14	13	1

비파괴 시험에 의해 추정된 각 구조물의 평균 콘크리트 압축강도의 분포를 그림 1에 표시하였고, 콘크리트의 재령과의 관계를 그림 2에 표시하였다.

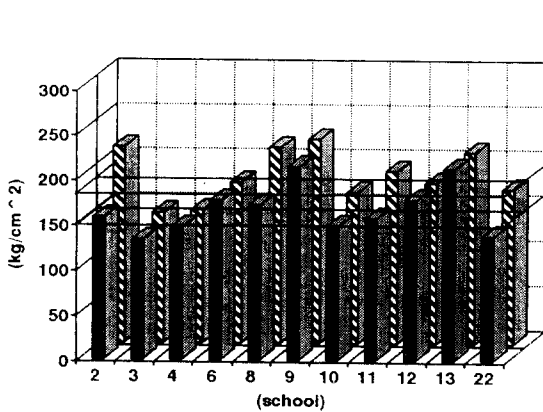


그림 1 콘크리트의 평균추정압축강도

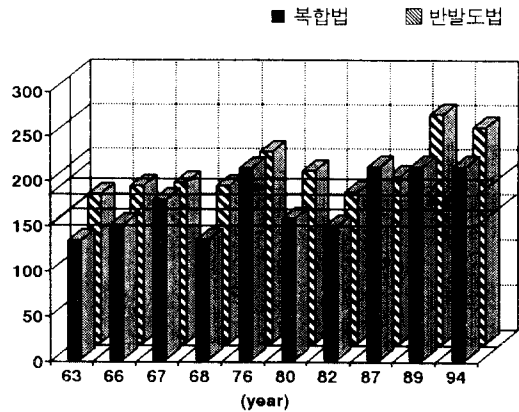
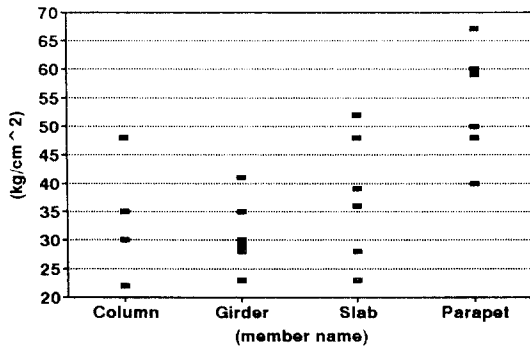
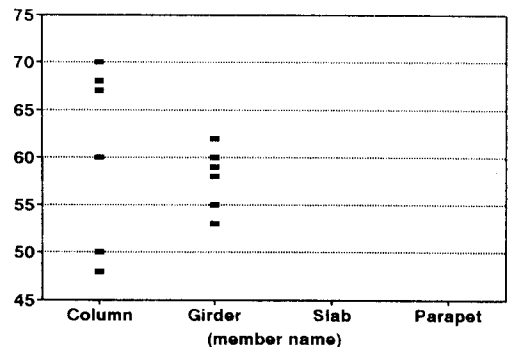


그림 2 재령과 압축강도의 관계

페놀프탈레인 1%의 용액을 사용한 콘크리트 중성화 깊이를 조사한 결과를 그림 3에 표시하였다. 각 구조물의 구조부재에 대한 철근 배근을 비파괴시험에 의해 추정한 결과, 교육부가 제시한 표준설계에 일치하는 것으로 판단되어지나, 슬래브의 경우는 시공시의 상하 철근의 간격을 충분히 확보하지 못



(a) 미장제거



(b) 미장미제거

그림 3 콘크리트 중성화 깊이

한 경우가 많았다. 또한 외부 파라렛, 난간등은 콘크리트의 피복두께를 거의 확보하지 못한 경우가 대부분인 것을 나타냈으며, 기둥·보 부재는 미장 콘크리트가 상당한 두께를 갖고 있어 피복두께를 정확히 추정하지는 못했으나 충분한 것으로 판단되었다. 각 구조물에 대한 지질 조사 결과 2개동을 제외한 나머지 구조물들은 지반상태가 좋지않은 매립토위에 놓여 있거나, 일부 사질토 등 극히 열악한 지반위에 건축되어 있었다.

#### 4. 구조성능 열화 원인고찰

##### 4.1 구조물의 균열

균열성상은 일본 콘크리트 협회의 균열보수지침<sup>(2)</sup>에 내구성을 기준으로 하여 보강이 필요하다고 판단되어지는 0.4mm 이상의 균열이 2개동을 제외한 구조물 전반에서 나타나고 있다. 특히 보와 기둥에서는 건전한 상태보다는 그 손상정도가 심한 경우가 약 50% 정도로 나타나고 있다. 그 원인으로는 기둥의 경우, 콘크리트의 열화에 의한 콘크리트 압축강도의 저하이외에 무리한 증축이 그 주요한 요소인 것으로 구조계산을 통한 구조적 안전성 검토에서 나타났으며, 보의 경우는 콘크리트 강도열화 이외에 시공불량과 지반의 부동침하가 그 주요 원인으로 판단되어진다. 특히 보의 경우는 전단 균열보다는 중앙부에 휨균열이 주로 발생하는 것으로 나타났다.

비구조체인 칸막이 벽의 균열은 조사대상 전 구조물에서 0.4mm 이상의 균열이 발생되어 있으며, 극히 심각한 상태인 경우도 50%를 넘는 것으로 나타났다. 이는 지반조건에 관계없이 표준설계도에 따른 일률적 기초의 설계, 시공으로 열악한 지반조건에 건설된 구조물들이 극심한 부동침하현상을 나타내어 일어난 것이다. 또한 대부분의 구조물에서 수평증축되어진 화장실 및 연결 교사동과 본 구조물 사이에는 1cm 이상의 관통 균열들이 조사되었고 이는 화장실의 경우 제대로 된 기초를 설치하지 않은 경우가 대부분이었기 때문이며 연결 교사동의 경우는 증축부분과 기존부분 사이에 신축이음이나 지반 거동의 차이에 대한 고려를 하지 않아 두 부분의 지반에 벌어짐이 발생한 것으로 판단된다.

##### 4.2 콘크리트의 압축강도

비파괴시험을 통해 추정된 강도는 장기재령과 강도 사이에 큰 연관이 없는 것으로 나타났으며, 추정 설계강도보다도 낮은 강도 값을 나타내는 경우도 있음을 알 수 있다. 이는 시공당시의 콘크리트의 품질에서 오는 현상으로 판단되어 저강도 콘크리트에 대한 화학분석을 시행하였다. 화학분석<sup>(3)</sup>은 X-ray Fluoroscope에 의한 방법과 습식완전분석법을 사용하여 배합추정에 필요한 제반 화학성분량을 분석하여 이를 토대로 W/C 및 염화물 함유 정도를 추정하였다. 추정결과 시편 콘크리트의 W/C는 60-70%가 대부분이었으며, 일부는 70%이상을 나타냈고, 동절기에 콘크리트를 타설한 것으로 추정되는 구조물에서는 염분함유량이 KSF4009에 규정된 염분한도 0.04%를 모두 넘어섰다.

따라서, 높은 W/C 비와 과도한 염분함유가 콘크리트의 품질을 저하시켜 재령이 증가되어도 콘크리트의 압축강도는 중진되기 보다는 열화되는 원인이 되었고, 이에 염해와 과다하중이 콘크리트 내부에 미세 균열들을 발생시켜 콘크리트 강도를 더욱 저하시킨 것으로 판단된다.

##### 4.3 콘크리트의 중성화 및 철근 피복두께

콘크리트의 중성화는 시멘트의 수화로 인해 발생된 수산화칼슘( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )의 강알카리성(pH12-

13) 콘크리트가 대기중의 탄산가스(CO<sub>2</sub>)에 의해 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)의 약 알칼리성(pH8.5-10)으로 되므로써 철근의 부식을 방지하는 기능을 철근 부식을 방지하는 기능을 상실하는 것을 의미하지만 피복의 완전 중성화가 바로 철근의 녹을 발생시키는 것은 아니다. 본연구에서도 구조부재 중, 피복이 완전히 중성화된 경우가 많았으나 내부 철근의 부식<sup>(4)(5)</sup>으로 인한 부피팽창에 의해 균열이 발생한 기동, 보는 조사되지 않았다. 이는 모든 구조부재들이 충분한 두께의 피복을 확보하고 있을 뿐 아니라, 상당한 두께의 미장을 확보하고 있어서 철근의 부식에 의한 부피팽창을 억제하고 있기 때문이라 판단된다. 그러나, 충분한 피복을 확보하지 못한 슬래브와 파라펫에서는 철근 부식에 의한 표면 콘크리트의 박리 박탈현상이 조사 대상인 전 구조물에서 나타나고 있어 충분한 피복두께를 확보하지 못한 경우에는 콘크리트 중성화가 철근의 부식에 의한 부피팽창으로 이어져, 이것이 구조물의 구조적 안전성을 심각하게 위협하는 요인은 아니나, 콘크리트 덩어리의 박탈에 의한 안전사고 및 미관상 큰 열화 요인이 됨을 알 수 있다. 조사대상 구조물의 중성화 깊이는 일본건축학회의 표준시방서관계식을 사용하여 구한 값보다 큰 값으로 나타나고 있어 도시의 공해가 콘크리트 중성화속도를 빠르게 진행시키고 있음을 알 수 있으며, 이에 대한 심도있는 검토가 필요하리라 사료된다.

#### 4.4 지반 조건과 기초

지반은 구조물의 하중을 최종적으로 처리하는 가장 중요한 구조요소이다. 조사대상 구조물들은 다양한 지반 조건위에 건축되었음에도 불구하고 표준도면에 따른 동일한 기초형식으로 시공되어 있어 건축물의 기초지반으로서 충분한 지내력을 갖고 있지 않은 연약지반이나 동일 구조물에서도 지반조건이 상이한 경우<sup>(6)</sup>에는 상당량의 부동침하를 일으키고 있으며, 구조부재 및 비구조벽체에 많은 손상을 유발시키고 있다. 특히 많은 구조물들이 경사 지역에 건축되어 일부 절토, 일부 매립의 지반조건하에 건축되어져, 동일 형태의 기초로는 부동침하 현상을 막을 수 없는 상태에 놓여 있으며, 도피의 위험성을 내재하고 있는 구조물 조차조사되었다. 따라서, 현재의 표준설계도에 의한 일률적 시공은 시급히 개선되어야 하며, 이런 불안정 지반위에 건설된 구조물에 대한 대책이 필요하다.

### 5. 결 론

본 조사 연구를 통해서 초·중등 교육시설물의 구조성능을 열화시킨 주요 원인으로 판단되어지는 것을 중요도에 따라 정리 서술하면 다음과 같다.

- ① 지반조건을 고려하지 않은 획일적 표준설계도서의 적용으로 인한 부적절한 기초형식에 따른 구조물의 부동침하 현상
- ② 구조적 검토없이 무리하게 시행된 증·개축 행위
- ③ 시공관리 소홀로 인한 저품질 시공에 따른 콘크리트 강도열화 현상
- ④ 초기균열들의 방치로 인한 철근부식에 따른 피복 콘크리트의 박리박탈현상

이상과 같은 원인들을 고려하여 콘크리트 구조물이 계획시공되고 유지관리된다면, 장기간에 걸친 사용에도 콘크리트 구조물의 구조 열화 현상이 상당히 억제될 것으로 기대된다.

● 참고문헌 ●

1. 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조물의 비파괴 검사 및 안전진단, 1994.
2. 日本コンクリート工學協會, 콘크리트의 ひびわれ調査, 補修・補強指針, 1989.
3. 日本セメント協會, セメント・コンクリート化學と 其の應用, 1987.
4. 한국건설 기술 연구원, 서울시청사 구조물 구조안전진단, 1996.
5. 片脇清士, 鹽害と ひびわれ コンクリート造 建物の腐食と ひびわれ, セメント・コンクリート[451] pp.94-102, 1984.
6. 토질공학연구실역, 기초공학원론, 서울대학교, 구미서관, 1988.