

철근콘크리트조 교육시설물의 열화성상에 관한 조사 연구

- 서울지역 초·중등학교를 중심으로 -

Structural Deterioration of Educational Buildings in Reinforced Concrete Structure : Area Seoul

권 기 혁*
Kwon, Ki-Hyuk

ABSTRACT

The purpose of this study is to present basic data in order to improve the efficiency and the objectivity of diagnosing educational structures built with the reinforced concrete. For achieving the purpose, this paper, firstly, researches damage aspects of 22 public educational facilities in Seoul, and summarizes the results of that research. Through the analysis and the evaluation of damage aspects, this paper shows the conclusions as follows:

- (1) Main damage to reduce structural capacities of building is the differential settlement.
- (2) Though the steel corrosion is occurred by several factors, the main cause is the faulty construction.
- (3) To prevent the damage development, a proper repair strategy is very important

키워드 : 구조안전진단, 열화상태, 부동침하, 균열, 콘크리트 추정강도, 중성화

1. 서 론

1.1 연구의 필요성 및 목적

근대 교육이 시작된 이후에 많은 수의 학생들을 수용하기 위해 현존하는 재료중 저층구조물의 건축에 가장 경제적이고 실용적인 철근콘크리트를 사용한 건축물들이 교육시설로 도입하였고, 현재

에도 대부분의 초·중등교육시설의 교사는 철근콘크리트를 재료로하여 건축되고 사용되어지고 있다. 철근콘크리트는 재료적 수명이 반영구적인 것으로 간주되어져 왔으나, 환경 조건의 변화와 장기간 사용에 따른 노후화에 대한 부적절한 보수·유지관리는 철근콘크리트가 가지고 있는 재료적 수명을 급속히 단축시키고 있으며, 불량한 품질관리와 시공이 이러한 현상을 더욱 촉진시킨다는 것을 기존 철근콘크리트조 건축물이 보여주고 있다.

* 정회원, 서울시립대 건축·도시·조경학부 건축전공, 전임강사, 공학박사

삼풍백화점 붕괴 사고 이후에, 건축 구조물의 안전성에 대한 관심이 높아지면서 각 교육구청들은 노후화된 교사동에 대해 많은 구조안전진단을 실시하고 있으나 현재까지 진행되어온 구조안전진단은 개별적이며, 비효율적으로 진행되고 있다고 판단되어진다. 교육 시설물은 대개의 경우 표준 설계도에 의해 시공되어지기 때문에 다른 구조물과 달리 구조물의 하중상태나 사용양태가 유사할 뿐아니라 규모면에서도 상당한 유사성을 지니고 있다. 따라서, 이들 구조물에 대한 구조안전진단은 그 열화성상에 관한 체계적 정리와 검토를 통해 유용한 자료를 축적·활용한다면, 진단과정을 극히 단순화시켜 경제적이고 효율적인 진단을 행할 수 있게 될 뿐아니라 신뢰성에 있어서도, 지금과 같은 전문가의 개인적 판단에 의한 평가보다는 좀더 객관적이고 신뢰성 있는 진단결과를 만들어 낼 수 있으리라 본다. 그러나 국내의 현실은 개별 시설물에 대한 구조안전진단만이 무수히 행해지고 있을 뿐, 구조물의 안전성을 판단하는데 있어서 중요한 요소로 평가되는 유사한 상황에 대한 자료를 축적·활용하고자 하는 노력은 전무한 상황이어서 자료를 축적하여 공유하고자 하는 노력이 시급하리라 본다. 따라서 본 연구의 목적은 철근콘크리트로 시공된 초·중등 교육시설건축물에 대한 열화상태를 조사하고 이를 정리 평가하여 앞으로 수행되어지는 노후교사동의 구조안전진단을 보다 경제적이고 객관적으로 수행할 수 있는 기본적 자료를 제공하고자 하는 것이다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 조사 대상 학교

본 연구의 조사 대상인 학교들은 우선 지역적으로 서울 지역으로 한정하였으며, 비교적 접근조사가 용이하고 1960년대에서 1980년대까지 건축된 구조물들 중 구조 열화성상이 비교적 쉽게 관찰될 수 있는 어느 정도 노후화된 구조물을 선택하였다. 표 2.1은 조사 대상된 학교들의 소재지와 최종 준공연도 및 구조물의 규모(층수)를 표시하고 있다. 또한 대부분의 구조물들이 중·개축 공사를

받은 것으로 조사되어 학교 당국이 보관하고 있는 관리대장으로 확인되어진 중·개축 공사회수를 함께 표시하였다.

2.2 조사내용

2.2.1 열화상태의 조사

철근콘크리트로 시공된 교사동의 열화현상 조사 항목 및 평가기준은 일본건축학회의 “건축물의 조사·열화진단·수선의 방안·동해설”과 飯塚의 “건축유지보존”을 기초로 하여 설정하였으며 그 내용은 표 2.2와 표 2.3에 표시하였다.

평가기준의 I은 건전한 상태로서 열화도 계수는 0이며, 평가기준 II는 양호상태로서 열화도 계수를 1로 평가기준 III은 보수·보강이 필요한 상태로서 열화도 계수는 2~5까지 설정할 수 있다. 열화도 계수 2는 보수가 필요한 정도이고 열화도 계수 5는 긴급히 보강공사 혹은 철거를 행하여야 할 경우를 의미한다.

표 2.1 조사대상학교

학교명	소재지	준 공	규 모	중축횟수
Y중	영등포구	1959	지상5층	3회
Y여중	영등포구	1963	지상4층	6회
H 여중	성동구	1963	지상4층	1회
S여중	동대문구	1964	지상4층	7회
Y초등	용산구	1964	지상4층	2회
H초등	용산구	1965	지상4층	4회
J초등	광진구	1965	지상4층	(자료미미)
B초등	관악구	1967	지상4층	1회
H초등	동대문구	1967	지상4층	3회
M초등	동대문구	1968	지상4층	2회
S초등	성동구	1968	지상4층	6회
S초등	성북구	1968	지상4층	2회
J초등	동대문구	1968	지상3층	2회
H초등	동대문구	1970	지상4층	6회
K초등	성동구	1972	지상4층	6회
M초등	중랑구	1973	지상4층	2회
Y초등	서대문구	1973	지상4층	1회
N초등	관악구	1976	지상4층	7회
Y중	구로구	1980	지상4층	2회
J초등	성동구	1982	지상5층	2회
D중	영등포구	1987	지상4층	2회
B중	관악구	1989	지상4층	1회

표 22 균열조사 항목 및 평가기준

번호	조사항목	기준단위	평가기준		
			I	II	III
A-1	기둥의 수직균열	길이1m를 1개로 환산하여 100m ² 당의 균열갯수	0개	1~2개	3개 이상
A-2	기둥의 수평균열	길이1m를 1개로 환산하여 100m ² 당의 균열갯수	0~2개	3~4개	5개 이상
A-3	보의 수직균열	길이1m를 1개로 환산하여 100m ² 당의 균열갯수	0~2개	3~4개	5개 이상
A-4	보의 경사균열	길이1m를 1개로 환산하여 100m ² 당의 균열갯수	0개	1~2개	3개 이상
A-5	슬래브의 균열	길이1m를 1개로 환산하여 100m ² 당의 균열갯수	0~2개	3~5개	6개 이상
A-6	개구 주변의 균열	개구부 10개소당의 균열갯수	0~2개	3~4개	5개 이상
A-7	기타 균열	길이1m를 1개로 환산하여 100m ² 당의 균열갯수	0~4개	5~9개	10개 이상

표 23 기타 열화성상조사 항목 및 평가기준

번호	조사항목	기준단위	I	II	III
B-1	들뜸	발생 면적률	1%미만	1%이상 3%미만	3%이상
B-2	박리현상	100m ² 당의 개소수	0개소	1개소	2개소이상
B-3	박탈현상	100m ² 당의 개소수	0개소	1개소	2개소이상
B-4	녹 호림	100m ² 당의 개소수	0개소	2개소	3개소이상
B-5	누수흔적	건축물각층별 또는 층층부위별 개소수	0개소	1~2개소	3개소이상
B-6	기타표면 오염	발생면적률	2%미만	3%이상 8%미만	8%이상

균열조사를 위한 균열폭의 기준은 표 2.4의 각국의 허용 최대균열폭 규격치를 검토하여, 구조부재 중 외부 환경에 직접 노출된 경우는 서울의 환경 오염 및 비의 산성도를 고려하여 약부식성에 노출되었을 시의 최대 허용기준인 0.2mm를 넘는 균열을, 실내에서는 비부식성에 노출된 것으로 가정하여 0.3mm를 넘는 균열을 조사대상으로 하였고, 비구조

체의 균열은 0.4mm를 넘는 균열만을 조사대상으로 하였다. 표 2.3의 기타 열화 현상의 조사항목중 들뜸 현상은 구조부재에 한정하여 조사하였고, 박리·박탈현상은 시공부실에 의한 것으로 명확히 판단되는 경우는 평가에서 제외시켰고 열화상태를 조사하기 위해 사용된 도구는 표 2.7에 표시하였다.

2.2.2 콘크리트 품질조사

시공된 콘크리트의 내부 품질을 추정하기 위해서 초음파전달 속도를 측정하였다. 일반적으로 이 방법은 콘크리트의 동적 특성, 강도, 균열깊이, 내부결함 등을 측정하는 방법으로 각 국의 기준은 이 전달속도를 사용하여 콘크리트의 품질기준을 판정하고 있다. 본 연구에서는 미국, 캐나다가 적용하고 있는 기준(표 2.5참조)을 적용하여 콘크리트의 품질을 판단하였으며 초음파 전달속도는 종파 속도만을 측정하여 초음파 관통거리와 전달시간을 이용하여 구했다.

2.2.3 콘크리트의 강도조사

교사동에 사용된 콘크리트의 강도를 조사하기 위해 비파괴시험법중 가장 일반적으로 적용되어지는 표면 반발경도법과 비파괴시험법중 비교적 강도측정정도가 높은 것으로 평가되는 반발경도(R)와 초음파속도(V)에 의한 복합법을 사용하였다.

표 2.4 허용최대균열의 규격치의 예

국명	기준 또는 제안자	환경조건 또는 대상구조물	허용 균열
일본	토목학회RC규준 시방서	해양콘크리트 (해설) 간조부 해수중	0.15 0.20
		(해설) 간조부 해수부	0.15 0.20
	일본공업규격	원심력 철근콘크리트플	0.25 0.05
미국	ACI Building Code	옥외부재 옥내부재	(0.33) (0.41)
러시아	SNIP II-B-1-62	비부식성 약부식성 중부식성 강부식성	0.3 0.2 0.2 0.1
유럽	유럽콘크리트위원회 (CEB)	상당한 침식작용을 받는 구조물부재	0.1
		방호공이 없는 구조물부재	0.2
		방호공이 있는 구조물부재	0.3

표 2.5 초음파속도에 의한 품질판정
(미국·캐나다 콘크리트 평가기준)

전파속도(mm/μsec)	품질 기준
4.6 이상	우수
3.7 ~ 4.6	양호
3.1 ~ 3.7	보통
2.1 ~ 3.1	불량
2.1 이하	극히불량

1) 반발 정도법

콘크리트 표면의 반발경도를 측정하기 위해서 슈미트햄머(Schmidt Hammer)중 NR형을 사용하였고, 기계적인 오차를 줄이기 위해 테스트엔빌(Test Anvil)한 교정을 행하였다. 현장 측정 방법은 일본 건축학회의 “콘크리트 강도 추정을 위한 비파괴 시험법 매뉴얼”에 따라 수행하였으며, 기존연구들에 의해 신뢰성이 가장 높은 것으로 평가되는 두 제안식에 대입하여 구한 값의 평균값으로 강도(Fc)를 추정하였다.

* 일본 재료학회식
 $F_c = 13R_o - 184 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

* 동경 건축재료 검사소 식
 $F_c = 10R_o - 110 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$
 여기서 R_o는 수정반발경도값

반발경도법에 의해 추정된 콘크리트 강도는 재령에 따라 그 값을 보정하여야 하며, 보정계수값은 표 2.6에 표시하였다.

표 2.6 재령과 경년계수 값

재령	10일	20일	28일	50일	100일	200일	300일	500일	1000일	3000일
계수	1.55	1.15	1.00	0.87	0.78	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63

2) 복합법

콘크리트의 강도 추정을 위해 콘크리트 강도에 연관관계가 있는 여러 가지 방법의 결과치를 복합적으로 고찰하여 강도 추정의 신뢰성을 향상시키는 방법이다. 이 방법에 의한 콘크리트 강도 추정식은 일반적으로 일본 건축학회가 제안한 식과

Rilem의 제안식을 주로 사용하고 있으나 본 연구에서는 신뢰성이 높은 Rilem 의 제안식을 사용하였다.

$$F_c = [10(0.3794 \times V + 0.01149 \times R + 0.4332)] \times 0.85$$

2.2.4 콘크리트 중성화 시험

콘크리트의 중성화 정도는 콘크리트의 건전도를 판단하는데 있어서 중요한 요소이다. 콘크리트 표면으로부터 중성화된 깊이를 측정하기 위해, 미장 부위를 제거하고 드릴 공구로 구멍을 뚫으면서 JIS K8001에 의거한 방식으로 제조된 페놀프탈레인 1%용액을 분사하여 변색여부에 따라서 중성화 깊이를 측정하거나, 채취된 콘크리트 코어에 이 용액을 분사하여 중성화 깊이를 측정할 수 있다. 전자의 방식은 간편하고 후자의 방식은 신뢰도가 높은 편이다. 본 연구에서는 전자의 방식을 기본으로 하여 수행하였고, 필요한 경우에 후자의 방식을 병행하였다.

중성화의 진행속도를 평가하기 위해 사용되어지는 식들은 실험을 통해 많이 제안되어 있지만 콘크리트의 품질에 영향을 미치는 요소들에 대한 검토가 필요하여 본 연구에서 적용하기에는 어려움이 있어 간편한 실험식인 다음식을 사용하여 시험 결과와 비교하였다.

$$y = 7.2 C^2$$

여기서 C : 중성화 깊이 (cm)

y : C 까지 중성화 되는 기간 (년)

2.2.5 배근 및 피복두께

철근의 배근 상태와 피복두께를 측정하기 위해 전자파 레이더(R.C Rader) 시험을 행하였다. 이 시험을 통해, 주근의 개수, 늑근의 간격 및 피복두께를 측정하여 구조물의 열화성상을 평가하는 참고자료로 활용하였다.

2.2.6 조사 및 시험에 사용된 기구

본 연구를 위한 현장조사에 사용된 기구들을 각

항목별로 정리하면 표 2.7과 같다.

표 2.7 조사 및 시험기구

조사항목	사 용 기 구
열화상태	균열 게이지(Crack Scale), 줄자, 실, 철자, 카메라, 망원경
콘크리트의 품질	초음파 측정기(Ultra Sonic Searcher Model :TR-300), 철자, 그라인더
콘크리트의 강도	슈미트해머(Schmidt Hammer : NR형), 초음파 측정기, 철자, 그라인더
콘크리트의 중성화	분무기, 드릴, 측정기, 코어채취기, 철자
배근 및 피복두께	프로포미터(Profometer), 전자파레이더, 줄자

3. 조사결과 및 분석

3.1 일반적 사항

초·중등 교육시설의 교사동은 대개의 경우 4층 이하의 편복도형 구조물로 되어 있고, 길이 방향의 긴 형태로 되어 있다. 또한, 구조 부재의 치수나 보강철근은 배근이 극히 유사한 형태를 띠고 있으며, 지반의 조건에 관계없이 동일한 기초 형식을 갖고 있는 것으로 추정된다. 지반조건에 따라 적절한 적절한 설계가 되어있지 않은 기초를 가진 건축물(특히 산지지역에 시공된 교사동)은 부동침하에 의해 조적벽체 및 구조부재에 상당한 손상을 초래하고 있다.

조사대상인 교사동 전부는 현재의 상태에 이르기까지 한 차례 이상의 증축공사를 행한 것으로 조사 되었고(표 2.1 참조), 공사내용의 일반적 경향은 표 3.1에 기술하였다. 이러한 증축공사 과정에서 수평증축부분과 기존부분의 연결부위에 설치되어야 할 신축이음(Expansion Joint)이 설치된 곳은 조사대상 교사동 전체에서 한 곳도 확인되지 않았으며 이로 인해 거의 모든 이음부위에서 균열 폭 1mm이상의 수직 균열이 조사되었다. 이 균열의 원인은 구조적 거동이 다른 두 요소 사이에 신축이음을 두지 않고 무리하게 일체화시킨 것으로 설계상의 하자에 의해 발생된 것일 뿐 아니라, 모든 조사대상에서 동일하게 나타나고 있기 때문에 평가대상에서 제외시켰다.

표 3.1 증·개축 공사의 일반적 경향

공사년도	공사 내용	공사원인
1970년대	· 수평 증축공사 · 수직증축공사 (여유대지가 없는 경우)	취학생수의 증가
1980년대	· 수직 증축 공사	취학생수의 증가
1990년대	· 수세식 화장실의 측면 증축 혹은 개축 · 급식시설 개축	시설 현대화의 사회적 요구

3.2 열화상태 조사 결과

철근콘크리트 구조물의 성능저하여부를 판단하기 위해 일반적으로 가장 먼저 조사되는 것이 건축물에 나타나는 균열이다. 철근콘크리트 구조물에 발생된 균열은 진행성 균열과 비 진행성 균열로 나눌 수 있으며, 진행성 균열은 구조물의 성능저하를 급속하게 일으킬 수 있어 더욱 주의깊게 조사되어야 한다. 균열조사에 대한 조사 항목별 평가기준에 따른 평가 결과는 그림 1에 항목별로 정리하여 나타내었다.

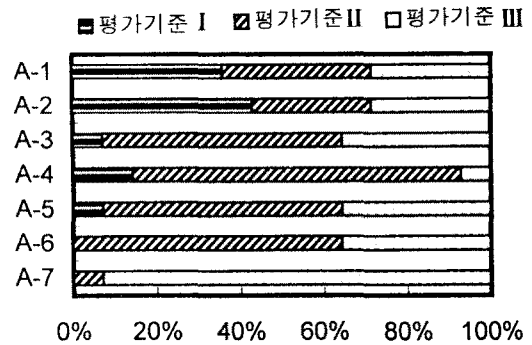


그림 1. 균열조사 평가

조사항목중, 구조부재의 균열조사에 해당되는 A-1에서 A-5까지의 항목에 대한 조사의 평가결과는 A-4항목(보의 전단균열)만이 보수·보강조치 없이 사용할 수 있는 경우가 93%로 비교적 양호한 것으로 평가되었을 뿐 나머지 네 개 항목은 보수·보강조치가 필요한 경우가 29%~36%까지 나타났고, 열화도 계수가 4를 넘는 부재 전체 보강이 필요한 경우도 기둥의 경우 12%, 보의 경우 18%로 나타났다. 특히 A-1 항목의 조사대상인 기둥의 수직균열은 구조 내력의 부족으로 인해 발생

된 균열이거나 철근부식에 의한 부피팽창효과로 나타난 균열일 수 있다. 이를 확인하기 위해서는 구조계산을 통해 구조 내력의 부족여부를 검토하여야 하며, 수직증축이 행해진 경우에는 구조 내력의 부족에 의해 발생했을 가능성이 높다. Y여중에 대한 구조계산 결과로부터 Y여중에 발생한 기둥의 수직균열은 구조내력 부족에 의한 것으로 판단되었다. 이러한 균열은 구조체가 가지고 있는 고유저항력의 부족으로 생기는 균열로 압축부재가 지지하기 어려운 압축응력으로 인하여 매우 불안정한 상태에 있는 것을 나타내는 것이다. 기둥의 수평 균열은 피복이 부족한 기둥에서 늑근의 부식에 의해 주로 발생되었으며, 특히 외부에 면한 기둥에서 조사되어졌다. 보의 재료방향 중심에서 나타나는 휨인장균열에 대한 조사항목인 A-4항은 보수·보강이 필요한 평가기준Ⅲ의 경우가 구조체 균열조사 항목중 가장 큰 값인 36%를 나타냈다. 휨인장균열은 압축균열에 비하여 구조성능 저하에 미치는 영향도는 작으나, 균열의 진행성 여부에 대해서는 주의깊게 관찰하여야 하며, 본 연구에서는 여러 제한적 여건 때문에 일부 균열에 대해 3개월이 경과한 후 재조사를 행하였으며, 진행성 균열은 조사되지 않았다.

슬래브의 균열은 슬래브 하부의 균열만을 조사하였음에도 건전한 상태로 평가된 학교는 1개교 뿐이었으며, 보수·보강이 필요한 경우가 36%로 나타났다. 슬래브의 균열현상은 슬래브의 부족한 피복두께(0mm~30mm), 불성실한 철근 배근 공사(상하근의 간격이 충분히 확보되지 않은 경우) 및 부족한 슬래브 두께(H 초등의 슬래브 두께의 최소치 80mm) 등의 종합적 시공부실이 그 원인으로 판단된다.

A-5 항목과 A-6 항목은 비구조부재인 조적벽체가 주요조사대상이 된다. 조사결과 조사대상인 교사동 대부분의 조적벽체에서는 균열이 조사되었고 건전한 상태로 평가된 건축물은 A-5, A-6 항목 모두 없었다. A-7의 경우는 열화성상정도가 심각하여 93%가 보수가 필요한 정도로 나타났다. 대부분의 건축물에서 조적체와 구조체가 만나는 곳에서는 균열이 발생되어 있으며, 증축된 화장실

벽체는 심각한 균열성상을 나타내는 경우가 많은 것으로 조사되었다. 이러한 조적벽체의 균열은 구조적 안전성에는 영향을 미치지 않으나 사용자들에게는 심리적 불안감을 유발할 수 있으며, 건축물의 사회적 평가에도 큰 영향을 미친다. 조적벽체의 주요원인은 시공 품질에 영향을 받으며 건축물의 기능상에 영향을 미쳐 방수, 차음 등의 성능을 저하시킨다.

기타 열화성상의 결과는 그림2에 나타났다. 이 조사결과는 조사대상 건축물 전체에서 건전한 경우가 전혀 없는 것으로 나타났으며, B-1(들뜸현상), B-2(박리현상), 및 B-5(누수현상)은 보수가 필요한 경우가 60%를 넘어서 대부분의 건축물들이 보수가 필요한 것으로 나타났다. B-1 항목의 들뜸현상은 보의 미장들뜸이 주로 조사되었다. 녹호름 현상이 비교적 적게 관찰된 것은 박탈현상으로 인해 녹호름 흔적이 줄어들었기 때문으로 생각된다. 박탈현상은 발코니 부위에서만 주로 발견될 뿐, 극히 일부 지반과 접한 보에서 조사되었다. 박리·박탈현상이 사용자에게 주는 불안감은 극히 높을 뿐 아니라 박탈된 콘크리트 덩어리에 의한 안전사고의 위험성도 내포되어 있어 박리 부위에 대한 보수가 시급하다.

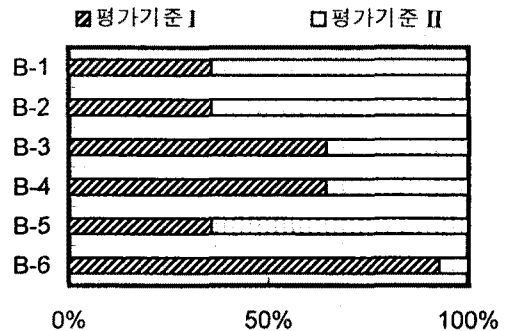


그림 2. 기타 열화성상 조사평가

기타표면오염현상을 외부에 접한 면에서만 조사되어 외관상으로는 발생면적이 큰 것으로 보이나 건물전체의 면적으로 추산하였을 경우에는 전체 면적에 비해 크지 않은 것으로 나타났다. 기타열화성상은 시공의 품질을 높이므로 감소시킬 수 있을 뿐 아니라, 초기 균열에 대한 적절한 유지관리

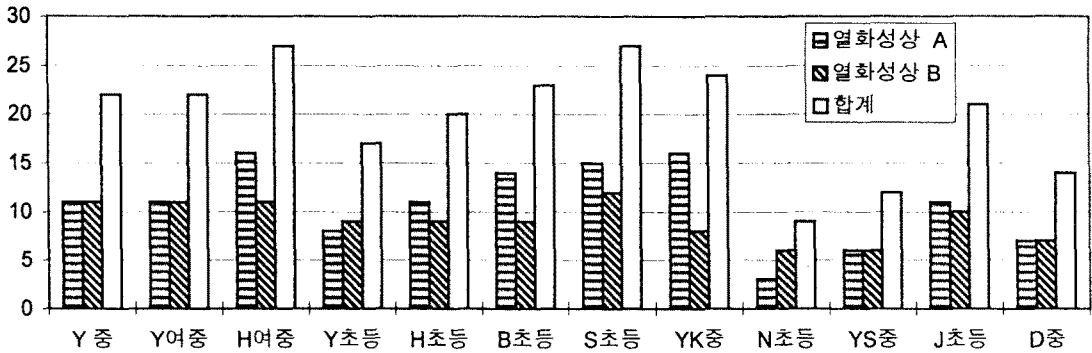


그림 3. 각 교사동의 열화도 계수

가 병행된다면 박리, 박탈, 녹흐름과 같은 내부 철근의 부식에 의해 발생되어지는 현상은 크게 감소시킬 수 있으리라 본다.

각 조사대상 교사동에 대한 열화도계수의 합계를 구하고 지반 조건과 시공결합정도 및 유사성을 검토하여 12개 학교에 대한 결과를 그림 3에 표시하였다.

조사항목 A, B 모두에 대해서 N 초등학교가 가장 양호한 상태를 보였고, 1970년도 후반기 이후로 시공된 건축물들이 비교적 낮은 열화도 계수 값을 나타냈다. 60년대 초반에 시공된 구조물과 60년대 후반에서 70년대 초반에 시공된 구조물들은 열화도 계수가 유사하게 나타나고 있어 20년 이상이 경과하면 시공연도와 열화도 사이에 상관관계성은 매우 낮은 것으로 보이며, 20년 이상 경과된 철근콘크리트 구조물은 그 열화가 급격히 진행되어진다고 볼 수 있다.

3.3 콘크리트 품질 및 강도 조사

콘크리트의 내부 품질을 판단하기 위해서 각 교사동의 보와 기둥에 대해서 초음파 전달 속도를 측정하였다. 측정장소는 열화성상이 조사되지 않은 표면상태가 건전한 곳을 대상으로 하였고 10개 소석을 실시하여 평균값을 표 2.5에 제시한 미국·캐나다 규정에 적용시켜 판정한 결과, H 여중(1963년시공)을 제외한 모든 교사동이 보통인 상태로 판정되었으나, 표준편차가 크게 나타나 구조물 전체의 품질의 변화가 큰 것으로 보여진다. 각 구조물에서 조사된 콘크리트 강도를 그림 4에 보·기둥별, 추정방법별로 나타내었다.

대체적으로 반발경도법에 의한 추정강도가 복합법에 의한 추정강도보다는 높게 나타났으며, 보의 강도가 기둥의 강도보다는 전반적으로 높은 것으로 나타났다. 반발경도법으로 추정된 보의 콘크리트 강도는 160kg/cm²~210kg/cm²까지 분포되어 있으며 180kg/cm²를 넘지 못하는 경우는 25%였다.

복합법에 의해 추정된 값은 H여중의 경우 122kg/

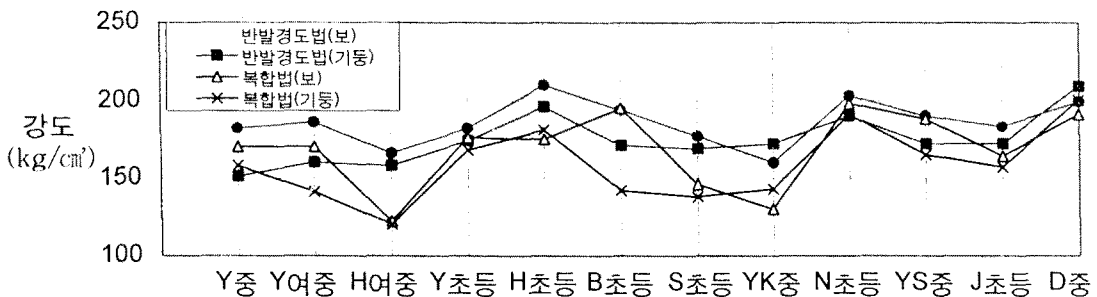


그림 4. 각 교사동의 추정 콘크리트 압축강도

cm²이라는 극히 낮은 값을 나타냈고 전체적으로 150kg/cm²를 넘지 못하는 학교도 25%에 이르렀다. 기둥에 대한 조사결과는 보의 경우보다 반발법에 의한 값에서는 최고 20%, 복합법에 의한 값에서는 37%까지 적은 값으로 나타나고 있고, 반발법에 의한 추정강도는 151kg/cm²~209kg/cm², 복합법에 의한 측정강도는 120kg/cm²~200kg/cm²까지 분포하고 있다.

반발법에 의한 값은 150kg/cm²을 넘어서고 있으나 복합법에 의한 값은 42%가 150kg/cm²을 넘지 못하고 있으며 H여중의 기둥 역시 120kg/cm²정도의 값을 나타내고 있다. 강도 추정결과가 건전하다고 평가되는 N초등학교와 극히 불량한 것으로 평가되는 H여중에 대해 기둥·보중 동일 장소에 있는 부재를 선정하여 추가조사한 강도 추정값을 그림 5에 표시하였다.

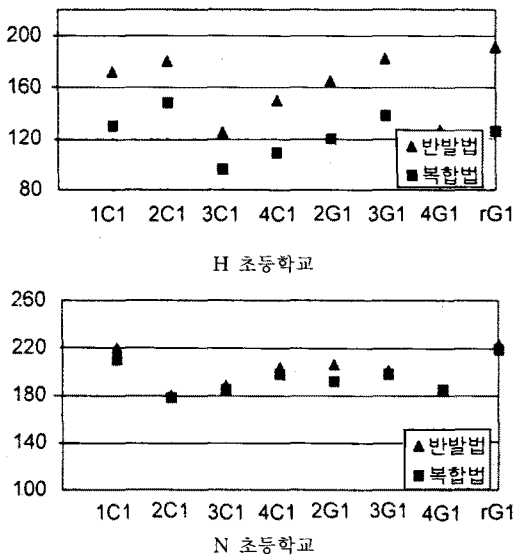


그림 5. 각 부재별 추정 콘크리트 압축강도

N 초등과 H 초등을 비교하면 H 초등은 강도 자체가 낮을 뿐 아니라 추정강도의 분포도 상당한 편차를 가지고 있으며 반발경도법과 복합법의 추정값 또한 그 차이가 크게 나타나고 있어 콘크리트의 내부 열화현상도 심각한 것으로 추정된다. 따라서, 단순한 콘크리트 추정 강도값만을 근거로하

여 구조물의 안전성 검토를 위한 구조계산을 행하는 것은 콘크리트 강도가 낮은 경우에는 구조물의 안전을 판정하는데 큰 오류를 범할 수 있는 가능성이 있다. 그림6은 콘크리트 추정강도값과 열화도계수와의 관계와 추정방법간의 차와 열화도계수와의 관계를 나타낸 것이다.

그림에서 Y축은 자료값의 일반화를 위해 열화도계수 값 중 최저값에 대한 비를 사용하여 무차원화 시켰고, X축은 복합법에 의한 콘크리트의 강도(그림 a), 추정강도의 차를 복합법에 의한 강도로 나눈 백분율(그림 b)로 설정하였다. 이 그림을 통해서, B 항목의 열화도계수는 콘크리트의 강도나 추정강도간의 차에 대해 상관성이 낮은 것으로 나타나고 있으나, A 항목의 열화도계수는 콘크리트 강도 및 추정강도차에 대해 어느 정도의 상관성을 나타내고 있다. 특히 콘크리트의 절대 강도보다는 추정강도차에 대한 상관성이 높은 경향을 나타내고 있다. 이에대한 명확한 관계성을 판단하기 위해서는 좀 더 많은 자료의 축적이 필요하리라 본다.

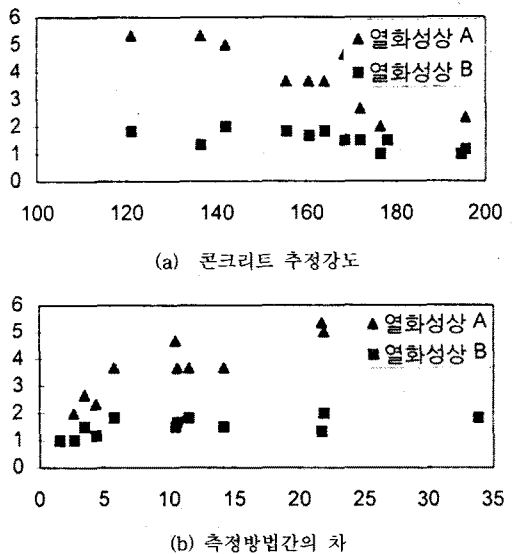


그림 6. 각요인과 열화도계수와의 관계

3.4 콘크리트의 중성화

교사동에 대한 중성화 시험 결과는 전반적으로

피복두께를 초과하는 중성화 정도를 보였으며, 1970년대 이전에 시공된 교사동은 이미 콘크리트 내부까지 완전중성화 되었을 가능성조차 조사되었다. 발코니부의 콘크리트는 콘크리트 전체가 중성화되어 있는 경우가 대부분이며, 외부에 면하는 기둥은 내부의 보·기둥 부재보다 1cm~2cm 가량 더 중성화가 되어 있는 것으로 조사되었다.

중성화깊이에 따른 콘크리트의 강도추정식이나 중성화 깊이에 의한 콘크리트 재령 추정식을 적용하여 비교하였으나 그 차가 상당히 크게 나타나고 있어 이들 두식은 조사 대상이 된 교사동에는 전혀 적용할 수 없는 것으로 판단된다. 중성화가 이처럼 급속하게 진행된 원인은 공기의 오염, 산성비 등과 같은 환경적 요소도 원인일 수 있지만, 가장 큰 요인은 콘크리트의 품질관리의 문제로 보여진다. 과대한 물·시멘트비와 동절기 공사에 따른 염화물의 투여 등에 의한 콘크리트의 저 품질화는 콘크리트에 초기 균열을 발생시켰고, 이에 대한 부적절한 급속한 중성화의 원인으로 보여진다.

4. 결 론

철근콘크리트조 교육시설물의 열화성상을 파악하기 위해 서울지역 초·중등학교를 중심으로 행한 조사연구를 통해서 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 조사대상이 된 교사동들은 최초 시공된 후 현재에 이르기까지 수차례에 걸친 증·개축공사를 경험하였으며, 이런 공사로 인해 구조적 손상을 입은 경우가 대부분이었다. 또한 수평 증축의 경우에는 기존 부위와의 사이에 심한 균열양상을 나타내고 있다.

2) 지반조건에 따라 적절한 실체가 되어 있지 않은 기초를 가진 구조물은 부동침하에 의해 상당한 구조적 열화성상을 나타내고 있으며, 특히 조적조의 수평·수직균열이 심각한 양상을 보이고 있어 외기로부터 내부공간을 보호하는 건축물의 기본적 기능조차 수행치 못하는 상황이다.

3) 균열 열화성상의 항목별 조사결과, 건축물의 급작스런 붕괴와 연결될 수 있는 기둥의 압축내력

부족에 의한 수직 균열이 나타나 부재 전체에 대한 보강이 필요할 정도로 열화된 경우가 조사되었으며, 보의 경우는 휨용력부족에 의한 휨균열이 주로 조사되었다. 조적벽체의 균열은 전체 조사대상중 건전한 상태가 전혀없는 것으로 조사되었다.

4) 기타 열화성상의 항목별 조사결과는 건전한 상태가 전혀없어, 열화가 심한 것으로 조사되었다. 구조물에 대한 합리적인 유지관리가 시급한 것으로 판단된다.

5) 콘크리트 품질의 조사결과, 콘크리트 내부품질은 보통인 상태가 대부분이었고, 불량이 1개동으로 나타났으며 양호하거나 건전한 상태는 없었다.

6) 콘크리트의 강도는 구조물의 안전성을 위협할 수 있을 정도로 극히 열악한 값을 갖는 경우도 조사되었으나, 대체적으로는 양호하다고 볼 수 있었다. 반발법에 의한 추정강도가 복합법에 의한 추정강도보다는 일반적으로 높았으며, 또한 보의 강도가 기둥의 강도보다 높게 나타났다.

7) 열화도계수중 A 항목의 조사결과는 콘크리트강도와 추정방법 사이의 차에 상관관계가 있는 것으로 나타났으나, B 항목의 경우는 상관관계를 발견할 수 없었다.

8) 콘크리트 중성화 정도는 대부분이 이미 피복두께를 초과하였으며 기존에 제한된 수식들을 적용하여 추정하거나 평가할 수 없을 정도로 급속하고 심각하게 진행되었다.

* 본 연구는 서울시립대학교 신진 교수 연구비로 수행되었으며, 본 연구를 도와주신 쌍용양회 안전기술사업단 건축부에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Peter H. Emmons, 'Concrete Repair and Maintenance Illustrated', R. S. MEANS COMPANY, INC, 1994
2. 飯塚, '建築維持保全', 丸善株式會社, 1990
3. 日本建築學會, '鐵筋콘크리트造のひび割れ對策(設計·施工)指針·同解説', 1990
4. 日本建築學會, '建物の調査劣化診斷·修繕の考え方(案)·同解説', 1996

5. 日本建築學會, 'コンクリートの強度推定のための非破壊試験法 マニュアル', 1983
6. 한국콘크리트학회, '콘크리트구조물의 비파괴조사 및 안전진단', 1994
7. 대한건축학회, '건축물의 안전진단과 보수보강', 1993
8. 김성중외, '공동주택 균열진단기준 설정을 위한 실태조사연구', 대한건축학회논문집, 통권 99호, 1997.1