

대도시 지역의 노후 조적조 건축물의 구조 성능 열화 특성 분석

An Analysis on the Structural Deterioration Properties of Timeworn
Masonry Buildings in Metropolitan Area

권 기 혁* 이 경 용** 양 희 숙***
Kwon, Ki-Hyuk Lee, Kyoung-Yong Yang, Hee-Suk

Abstract

Because of the gravitation of population toward large cities, a number of masonry buildings have been constructed since 1960. They have been rapidly deteriorated as time passed by. Therefore the purpose of this paper is to present basic data on timeworn masonry buildings which have been managed by metropolitan government and to analyse their deterioration factors. And then, the results of this paper can be used to establish the policy of managing timeworn masonry buildings. According to this study, the crack of masonry wall is the most effective deterioration factor and timeworn masonry buildings have a problem with foundation. The structure grade have an interrelation with occupancy type more than building age. Also, the longer building age becomes, the sooner deterioration speeds. A timeworn masonry building is in urgent need of reinforcement on a thirty-year period of building age.

요 지

1960~70년대에 시작된 대도시 인구 집중화로 인해 다수의 조적조 건축물이 시공되었으며, 현재 이들은 상당수 구조 성능 저하 현상이 발생하고 있다. 노후 조적조 건축물의 특성 분석을 통해 벽체에서 발생하는 균열들이 가장 큰 열화요인이며 그 다음으로 큰 영향을 주는 요인은 기초로 분석되었으며, 열화 정도와 진행 속도는 사용유형, 시공년도와 큰 상관관계가 있는 것으로 분석되었다. 또한, 건물의 존치기간이 길어짐에 따라 전체적인 안전수준을 떨어지게 되는데 조적조 건축물에 있어서 열화 정도의 한계에 이르는 시기는 존치 기간 30년으로 분석되었다.

Keywords : timeworn masonry building, deterioration factor, interrelation

핵심 용어 : 노후 조적조 건축물, 열화 요인, 상관관계

* 정희원, 서울시립대학교 건축공학과 부교수

** 서울시립대학교 건축공학과 박사과정

*** 서울시립대학교 건축공학과 석사과정

E-mail : khkwan@uos.ac.kr 02-2210-2587

• 본 논문에 대한 토의를 2003년 9월 30일까지 학회로 보내 주시면 2004년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

우리나라는 1960~70년대의 인구 대도시 집중으로 인하여 70년대 이후 다수의 민간 건축물이 시공되었고 특히, 고층 건물 시공의 어려움과 단기간 많은 건물의 조성을 위해 소규모 조적조 건축물이 많이 건설되었다. 현재 이들의 존치기간은 대부분 20년 이상 경과되어 상당수는 노후화가 진전되어 건축물의 열화에 의한 구조적 성능 저하 현상이 발생하고 있다.

재난관리법 제18조 제1항 제4호의 규정에 의하여 재난 발생의 위험이 높거나 재난의 예방을 위해 계속적으로 관리할 필요가 있다고 인정되는 시설물로 규정된 건축물 중 구조적인 결함으로 보수나 사용제한 등의 조치가 필요한 재난 위험 시설(D, E급)에 대해서 서울시와 각 자치구는 재난관리법에 의거해 별도의 관리 대장을 작성하고, 월 1회 이상의 안전점검을 실시하고 있다. 그러나 재난관리법상 기준을 적용 받지 않는 소규모 건축물이나 개인 소유의 상가, 주택 등은 소유주나 사용자가 구청에 관리를 신청하지 않으면 아무런 부담도 없이 방치되어 관리가 소홀한 실정이다. 하지만, 아직까지도 서울시의 경우 이런 노후 건축물이 주거 인구 절반 이상의 비율을 차지하고 있으나, 이런 노후 건축물의 상태에 대한 구체적인 조사 및 연구가 미미하고, 민간 건축물일 뿐만 아니라 소규모 건축물이기 때문에 학술적 연구 대상으로서도 관심 밖에 밀려나 있는 실정이다. 최근에

서울 홍제동·대조동에서 일어난 조적조 건축물들의 붕괴사고에서 나타난 것처럼 이들 노후 조적조 건축물들의 구조적 수명은 한계시점에 근접하고 있음을 알 수 있고, 이에 대한 구체적 조사 및 연구가 필요한 시점이라 볼 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 서울시에서 2002년에 실시한 안전점검 자료를 바탕으로 건축물의 사용유형, 시공년도, 등급에 따른 노후화 정도를 정리·분석하여 이들을 효율적으로 관리하고 체계적인 대책을 수립할 수 있는 기초 자료 제시와 구조 성능 열화 특성 분석을 통해 향후 대도시 지역 건축물의 안정성 향상을 위한 정책 수립에 필요한 근거들을 제시하고자 한다.

2. 조적조 건축물 현황

2.1 분석대상 선정

현재 서울시의 존치 기간 20년 이상인 조적조 건축물은 약 10만호 정도 분포하고 있는 것으로 조사되었다. 2001년도 서울시립대학교에서 수행한 “비보강 조적조 건축물의 내진성능 향상방안”에 대한 연구에서 조사된 서울 지역 조적조 건축물의 분포 현황을 Fig. 1에 나타냈다. 서울시 전체 조적조 건축물 분포에 있어서 조적조 건축물의 대다수는 강북 지역에 분포하고 있으며, 사용유형별로는 연립주택과 같은 주거형 건축물이 상당부분을 차지하지만 지역별로는 다른 사용유형의 분포특성이 나타난다.



Fig. 1 조적조 분포 현황(참고문헌 4)

강남, 강동 지역에는 조적조 건축물이 거의 분포하고 있지 않은 것으로 조사되었고, 강서 지역에서는 타 지역에 비해 공장의 분포가 우세하며, 강북의 중앙지역은 상가의 분포가 각각 우세하다. 대도시 지역의 조적조 건축물의 특성을 파악하기 위해서는 서울시 전지역의 조사결과를 대상으로 하여 분석 및 고찰을 수행하는 것이 바람직하나, 10만호에 대한 조사결과 전체를 분석하는 것은 시간적, 인력상으로 불가능할 것으로 사료되어 서울시 전체 분포와 비교적 근접한 유사성을 가지고 있다고 사료되는 성동구 지역을 표본 대상으로 선택하여 연구를 수행하였다.

2.2 현황 분석

본 연구에서는 서울시 성동구에서 2002년에 실시한 안전점검 결과를 바탕으로 분석을 수행하였다. 분석 대상 건물은 조적조 6,053개소이며, 안

전점검 대상 구조물에 대한 등급 평가는 “시설물의 안전관리에 관한 특별법”의 시설물 상태 평가 기준에 따라 이루어졌다. 분석 대상 6,053개소의 등급별 분포 현황은 Fig. 2와 같다. 사용유형별, 층수별, 시공년도별 분포 현황은 Fig. 3, 4, 5에 표시하였고, 분석대상 건물 6,053개소의 그 사용유형을 보면 절반이상이 단독주택으로, 층수의 분포도 단층 건물이 절반 정도를 차지하고 있어 소규모 주택들이 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 또한 이들 건물은 대부분 시공한지 20년 이상 경과된 것으로, 특히 본격적인 대도시 인구 집중이 시작된 1960년 후반에서 70년대 초반에 시공한 건물이 60%이상 분포되고 있어 이 기간에 군소 영세 시공업자에 의하여 주거용 조적조 건축물이 대량으로 시공되었음을 의미하며, 1990년대 이후에는 조적공사의 인건비 상승 등으로 신축되는 건축물이 극히 미미한 것으로 조사되었다.

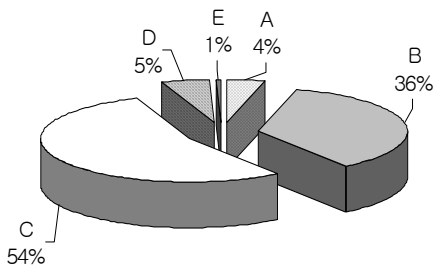


Fig. 2 등급별 분포 현황

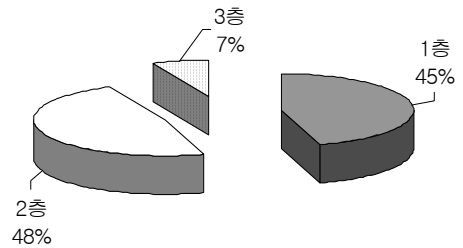


Fig. 4 층수별 분포 현황

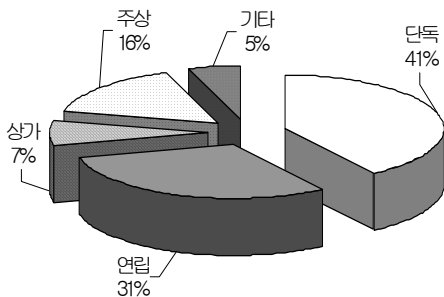


Fig. 3 사용유형별 분포 현황

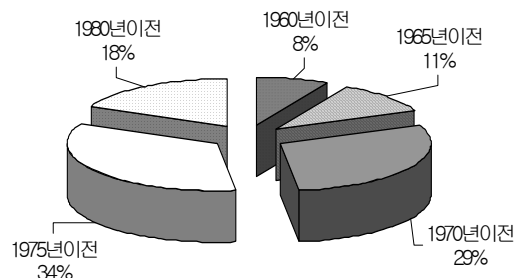


Fig. 5 시공년도별 분포 현황

3. 건축물의 안전수준 분석

건축물의 안전수준을 검토하기 위하여 각 유형마다 등급별로 점수를 부여하여 평점을 냄으로써 각 유형의 안전수준을 판단할 수 있는 자료로 활용하였다. 등급별 점수는 시설안전기술공단의 “재건축 평가 및 판정 방법의 대안 연구, 2000”에서와 같은 방법으로 부여하였으며, 각 점수는 A등급이 1, B등급은 0.9, C등급은 0.7, D등급은 0.4로 하였으며 E등급은 0이다.

3.1 건축물의 사용유형별 안전수준

사용유형은 단독 주택, 연립 주택, 상가, 주상복합, 기타 등 5가지 종류로 분류하였으며, 공장·창고 등과 같은 건물은 기타 유형에 포함시켰다. Table 1은 사용 유형에 따른 등급별 점수와 안전 수준을 보여주고 있는데, 상가를 제외한 나머지 사용유형 건물에서는 C등급 이상의 안전수준을 가지고 있으며 주택들에 비해 상가, 기타 유형 건물은 낮은 안전수준을 보이고 있다.

상가의 분포 형태의 특징은 저층으로 건물 밀집지역이나 도로변에 비정형 형식으로 많이 분포하고 있고, 조적조 구조의 안정성에 미치는 영향이 크다고 할 수 있는 벽량이 부족한 것으로 나타나 C등급에도 못 미치는 안전수준을 가지고 있는 것으로 분석되었다.

3.2 건축물의 시공 년도별 안전수준

각 시공년도별로 등급을 점수화하여 안전수준을 검

Table 1 사용유형별 등급점수

등급 유형	A	B	C	D	E	안전 수준
단독	110	721.8	995.4	40	0	0.761
연립	89	734.4	645.4	10.8	0	0.798
상가	11	84.6	170.8	38.8	0	0.675
주상	41	315	175	47	0	0.768
기타	3	89.1	122.5	18.8	0	0.714

토하였다. Table 2는 시공년도별 등급점수와 안전수준을 나타내었다.

각 시공년도 모두 C등급 이상의 안전수준을 가지고 있으나, 건물의 존치 기간이 길어질수록 안전수준이 낮아지고 있고 30년 이상 된 건물은 D등급에 근접한 상태를 나타내고 있다. 안전등급의 감소 정도는 30년을 기점으로 그 정도가 급격해지는 것으로 분석되었다. 따라서, 존치 기간이 길어질수록 구조 성능 저하 현상이 급속하게 진행되어 정상적인 사용이 불가능한 상태에 이를 가능성이 높으므로 이에 대한 적극적인 관심과 보강조치가 이루어져야 할 것으로 보인다.

3.3 상관관계 분석

건물의 사용유형과 시공년도의 안전수준 분석에서 알 수 있듯이 두 가지 모두 등급과 상관관계가 있음을 추정할 수 있다. 이것을 검토하기 위하여 건물 사용유형, 시공년도와 등급과의 상관관계에 대하여 검증하였다. 건물의 사용유형, 시공년도는 모두 범주형 변수에 속하므로 χ^2 값을 이용하여 두 변수 간의 상관관계를 검증하였으며, 검정 통계량(χ^2)은 식 1과 같이 계산한다.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (1)$$

* 식 1 : 참고문헌 7 참고

여기서, O_{ij} 는 관측도수이고, E_{ij} 는 기대수이며, r은 행의 수, c는 열의 수이다.

Table 2 시공년도별 등급점수

년도 \ 등급	A	B	C	D	E	안전 수준
1960년 이전	28	91.8	198.1	18	0	0.701
1965년 이전	19	139.5	263.9	41.6	0	0.707
1970년 이전	91	450	770	31.2	0	0.756
1975년 이전	79	823.5	686.7	26.4	0	0.789
1980년 이전	37	440.1	382.9	8	0	0.792

* Table 1,2의 등급 : 시설안전기술공단, “재건축 평가 및 판정방법의 대안연구, 2000”의 등급 평가와 동일

3.3.1 건물 사용유형별 상관관계

검정 통계량의 값을 구하면 $\chi^2=458.2$ 이고, 이 값은 유의 수준 5%에서 26.3보다 더 크므로 건물 사용 유형과 등급과의 상관관계가 있다고 할 수 있다. 여기서, 관측도수와 기대도수의 차이를 구하면 각 건물 유형별로 등급과의 상관정도를 알 수 있다.

Fig. 6의 건물 사용유형별 상관정도에서 단독주택은 C등급, 연립주택은 B등급과 상관정도가 큰 반면에 상가, 주상복합, 기타 유형 모두는 D등급과 상관정도가 큰 것을 알 수 있다. 연립주택의 경우 B등급과 가장 상관정도가 크고 안전수준도 가장 높으며, E등급과의 상관정도도 다른 건물 사용유형과 비교했을 때 가장 큰 것으로 나타나 연립주택 모두를 가장 안전한 건물 유형이라고 단정 지을 수는 없을 것으로 보인다. 또, 상가·주상복합·기타의 경우에는 모두 D등급과 상관정도가 가장 크고 C등급에 비해 B등급과의 상관정도가 더 크다. 즉, 열화가 발생하면 진행속도가 빨라져 B등급에서 C등급을 거치지 않고 바로 D등급에 이르는 경우가 많은 것으로 보이며, 이것은 열화가 진행 중인 건물에 대해 아무런 보수·보강 조치 없이 그대로 방치하면 진행속도가 더 빨라진다고 할 수 있다.

3.3.2 시공년도별 상관관계 분석

시공년도별 검정 통계량은 436.1이며, 유의 수준 5%에서 $\chi^2=26.3$ 이므로 시공년도와 등급은 서로 상관관계가 있다고 볼 수 있다. 건물 시공년도와 등급과의 상관정도는 Fig. 7과 같다.

각 시공년도 모두 B등급과의 상관정도가 크며, 존치기간이 길어질수록 상관정도는 점차 감소한다. D, E등급의 경우에는 존치기간이 길어지면 상관정도도 증가하여 35년 이상을 넘어서면 가장 큰 상관정도를 보이고, 40년 이상이 되면 다시 감소하게 된다. 이것은 존치기간이 35년 이상이면 건축물의 붕괴 가능성이 최대가 되며, 이때 이에 대한 적극적인 보수·보강 조치가 이루어져 40년 이상이 되면 다시 건축물의 붕괴 가능성이 낮아지는 것으로 보이며, 이는 적극적인 유지관리 조치에 의해 등급이 상승하거나 재건축 등으로 멸실됨으로써 발생하는 현상으로 볼 수 있다.

유의 수준 5%에서 검정 통계량 χ^2 과 건물 사용 유형별 검정 통계량 χ^2 , 시공년도별 검정 통계량 χ^2 의 차이를 각각 구하면 두 유형에 대하여 그 상관정도를 비교할 수 있다. 그 차이를 비교하면 건물 사용유형의 경우에는 431.9이고 시공년도의 경우에는 409.8이다.

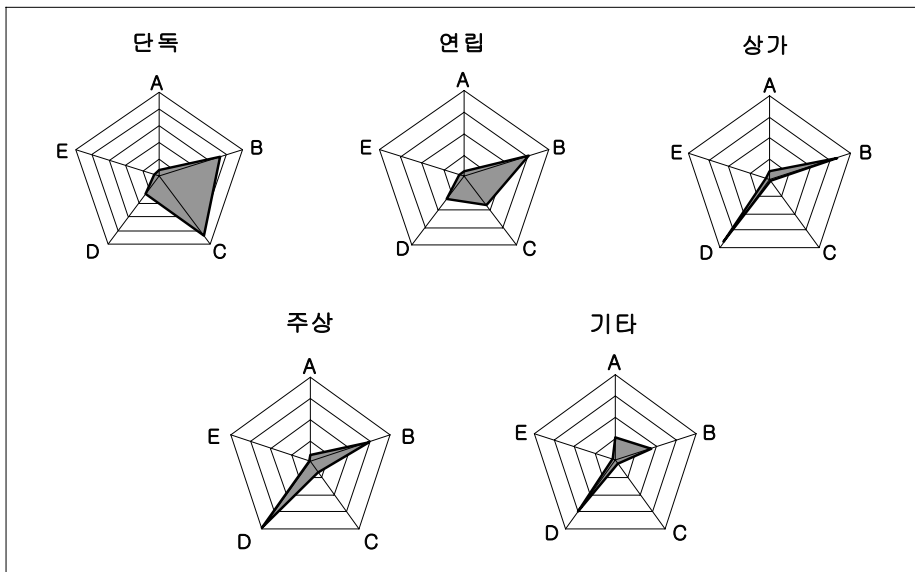


Fig. 6 사용유형과 등급과의 상관정도

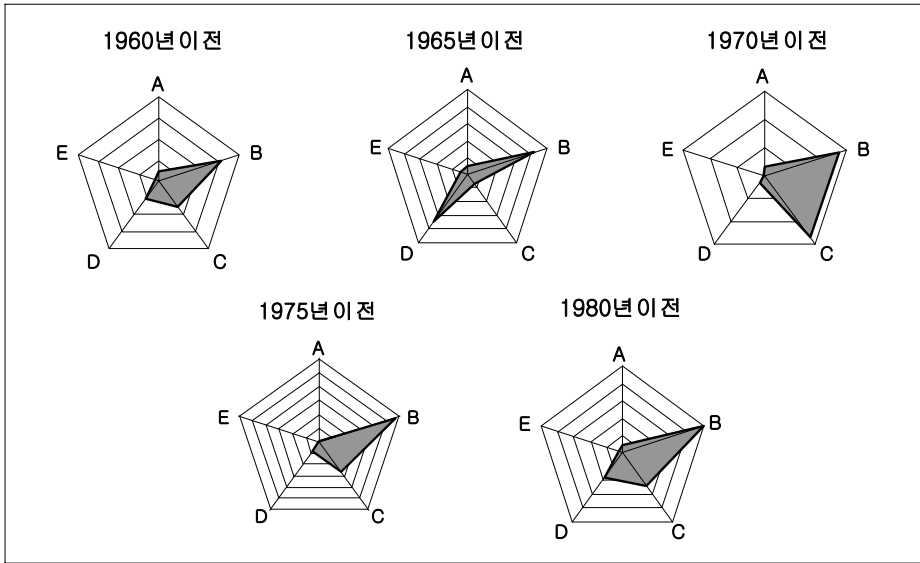


Fig. 7 시공년도와 등급과의 상관정도

차이가 클수록 큰 상관관계를 가진다고 볼 수 있으므로 등급은 시공년도에서 보다 건물의 사용유형에 따라 그 분포나 안전수준이 달라진다고 할 수 있다.

4. 관리대상 건축물의 열화 특성

4.1 열화요인

구조 성능 저하에 의해 정상적인 사용이 불가능한 상태로 평가되는 D·E등급의 건축물에 대해 Table 3 과 같은 항목에 대하여 육안 조사가 수행되었으며, 이 Table 3 육안 조사 항목

기초 손상	1. 건축물의 외부와 지표면 사이의 틈
	2. 건축물의 기울어짐 현상
	3. 건축물의 부동침하 현상
	4. 기타 지반의 상태 등 취약점
외부 손상	5. 개구부 주변의 경사 균열
	6. 벽체의 수직, 수평 균열
	7. 모르타르가 손으로 문질러 떨어짐
내부 손상	8. 벽체의 수직, 수평, 경사 균열
	9. 창문, 출입구의 작동 상태
	10. 내부 벽체의 유무

들 항목들에 대한 발생확률을 사용유형 및 시공년도별로 분석하여 Fig. 8에 표시하였다.

열화 요인 항목 중에서 외부 손상 요인에 해당되는 5, 6번 항목의 균열에 대한 조사결과는 사용유형, 시공년도에 상관없이 발생확률이 극히 높은 것으로 나타나 조적조 건축물의 구조적 특성으로 평가되는 인장력 혹은 전단력에 극히 취약함을 입증하는 결과라 할 수 있으며, 특히 상가와 기타 용도로 사용되는 건축물에서 그 발생확률(약 90%, 82%)이 극히 높은 것으로 분석됐다. 또, 단독, 연립, 상가의 경우에는 다른 건물들에 비해 1번과 4번 항목의 열화요인 발생확률이 높아 기초 부분의 문제로 인해 노후화가 진행되는 경우가 상대적으로 많은 것으로 보인다.

시공년도별 열화요인 발생확률을 보면 내·외부에서 발생하는 균열에 대해서 5, 6, 8번 항목 순으로 높으며 특히, 1970년 이전과 1975년 이전의 경우는 개구부 주변에서 발생하는 경사 균열이 80%이상 발생하고 있다. 특히, 1975년 이전의 건축물의 경우, 4번 항목의 발생률이 거의 70%에 육박하고 있으므로 부실한 기초가 열화에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

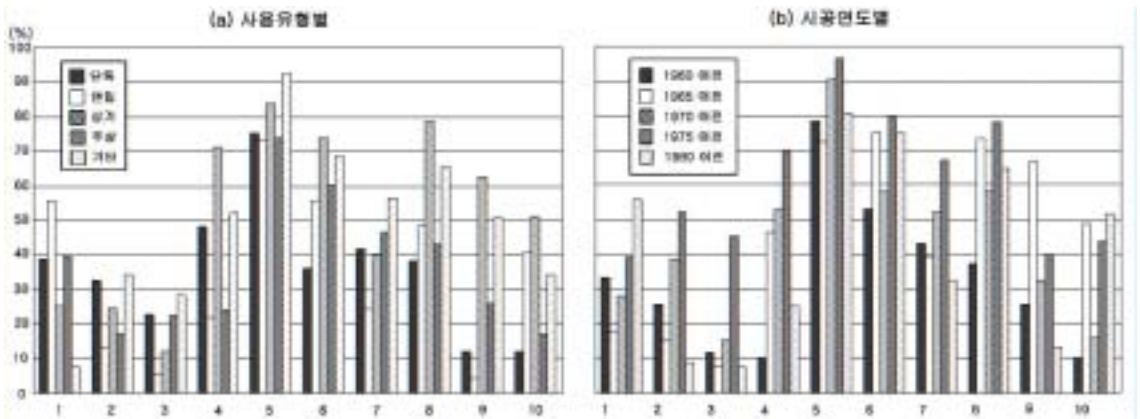


Fig. 8 열화요인의 발생확률

4.2 등급 분포 변화

전반적인 등급 분포 변화는 B등급을 제외한 모든 등급이 시공년도에 관계없이 증가하는 것으로 분석되었으며, C·D·E 등급의 증가는 시간 경과에 따른 당연한 경향으로 볼 수 있으나 A등급의 증가는 신축 건축물이 포함되지 않는 상황에서 특이한 현상으로 보인다. 이러한 현상은 정상적 사용이 불가능한 D·E 등급의 건축물에 대한 보수·보강과 같은 적극적 유지관리가 수행된 결과로 추정되어 성동구청의 협조를 얻어 2002년도의 조사결과에서 D·E등급으로 평가된 건축물에 대해 2003년 4월에 재조사를 수행한 결과, 조사대상 건축물의 등급변화는 다음 Table 4와 같다.

이 표로부터 등급이 상향조정된 건축물의 보수·보강 조치 및 재건축을 수행한 결과 A등급으로 상향되

Table 4 등급 변화

하향조정	변화없음	상향조정	재건축중
2개소	18개소	6개소	1개소

었음을 알 수 있다. 그러나 상향조정된 건축물의 사용 유형은 공장 등과 같은 기타용도 및 상가가 4개소이고, 주거용은 2개소에 불과해 주거용 건축물에 대한 소유주의 유지관리 의식은 높지 않은 것으로 보인다.

Fig. 9에 존치기간의 변화에 따른 등급 분포의 변화를 종합적으로 검토하기 위해 3차원의 꺾은 선 그래프로 나타냈으며, 건축물의 정상적 사용의 경계점이 되는 C등급과 D등급의 분포 변화는 굵은 선으로 표시하였다.

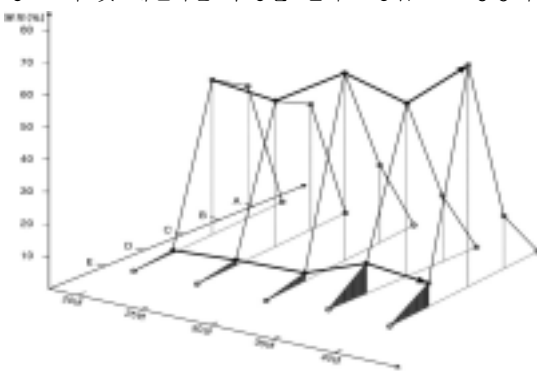


Fig. 9 존치기간에 따른 등급 분포 변화

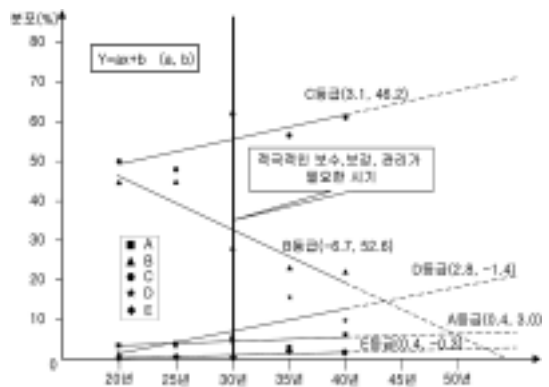


Fig. 10 존치 기간에 따른 등급 분포의 변화 추이

Fig. 10은 Fig. 9에서 존치기간과 각 등급의 분포 변화를 등급별로 표시하여 이들의 변화에 대한 선형회귀분석을(참고문헌 8) 수행한 결과를 표시하고 있다. 각 등급 옆에 표시된 수치는 회귀식 $Y=ax+b$ 의 a, b 계수를 의미한다. 이 두 그림으로부터 존치기간이 길어질수록 D·E 등급 건물의 분포는 증가하고 있고, 특히, 존치기간이 30년에서 35년으로 증가하면 정상적 사용이 불가능한 D·E 등급을 합한 분포가 12.62%로 증가하는데, 이것은 다른 존치기간 증가에 따른 등급 변화보다 급격한 변화를 보여주고 있다. 즉, 이것은 존치기간이 30년을 넘어서는 시점에서부터 열화진행 속도가 빨라진다는 것을 나타내는 것을 의미하며, 이에 따른 붕괴 가능성 또한 높아진다고 할 수 있을 것이다.

존치기간 증가에 따라 건물의 전체적인 안전수준은 떨어지게 되는 데, 존치기간 20년인 경우에 전체 등급 분포에서 B·C등급이 94.61%를 차지하지만 시간 경과에 따라 B등급 분포는 급격하게 감소하고 C·D등급은 증가하여 결국 존치기간 50년 정도 경과하면 C·D등급 분포가 약 90% 정도에 이를 것으로 예상되며, 이러한 C·D등급의 증가는 조적조 건축물의 대부분이 정상적 사용 한도의 경계점에 놓이게 됨을 나타내는 것으로 볼 수 있다. 등급 변화 경향을 종합적으로 고찰하여 볼 때 D등급의 분포가 급속히 증가되는 시점인 존치기간 30년이 조적조 건축물의 열화정도가 한계에 이르는 시점이라 볼 수 있으며, 적극적인 안전점검과 보수·보강 조치가 필요한 시기이다.

5. 결 론

본 연구는 서울시가 관리하고 있는 민간 시설의 안전점검을 통해서 대도시 지역의 조적조 건축물의 구조적 열화 성상에 대하여 검토하고자 하였다. 2003년 7월 1일부터 시행되는 신법에 따라 건축물의 재건축 가능 연한을 기존의 존치기간 20년에서 시공년도에 따라 30년 이상으로까지 증가시킨 것은, 본 연구를 통해 얻어진 결과에 근거해서 본다면, 구조적 성능 측면에서는 타당성 있는 결정이라 볼 수 있을 것이며, 그 이외에 본 연구를 통해서 얻어진 사항을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 건물의 안전수준은 사용유형과 시공연도에 따라 다른 것으로 분석되었고, 구조체의 열화 정도와 진행 속도는 사용유형과 시공년도와 높은 상관관계를 갖고 있음을 알 수 있다.
- 2) 육안조사 결과를 열화 요인별로 분석, 검토한 결과 조적조 건축물의 가장 큰 열화 요인은 균열이었고, 이는 사용유형에 관계없이 유사하게 나타났으나 그 이외의 열화 요인들은 사용유형에 따라 독특한 특성들이 드러났다.
- 3) 정상적인 사용이 불가능한 건축물에 대한 등급 분포 변화에 있어서 A등급의 상승은 적극적인 유지관리에 의한 것으로 조사되었고, 기타 용도와 상가에 대한 유지 관리가 주거용 건축물에 비해 적극적인 것으로 나타났다.
- 4) 존치기간의 증가에 따라 전체적인 안전 수준은 점점 떨어지고, 30년 이상을 넘어서면 열화 진행 속도가 급격하게 증가하여 D등급의 분포가 급격히 증가하며 조적조 건축물의 전반적 사용상태가 극히 불안정적인 상태인 것으로 분석되었다. 따라서, 존치기간 30년을 조적조 건축물의 안전성에 있어서 위험한 시기라고 판단된다.
- 5) 이 연구 결과를 토대로 노후된 조적조 건축물의 사용상태에 대하여 조사·분석이 깊이 있게 수행되어야 하며, 이런 연구들을 통해 노후화 정도가 급속하게 진행되고 있는, 현존하는 조적조 건축물에 대한 사용자의 안전을 보장할 수 있는 정책 대안이 마련되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 서울시립대학교 교내 연구비의 지원으로 수행됨.

참고문헌

1. 권기혁, "서울시 조적조 건물의 실태와 내진 성능 강화 기법", 서울 국제학술심포지움, 서울특별시, vol, sec3. 2000, p19 6~p211.
2. 권기혁, "철근콘크리트조 교육시설물의 열화성상에 관한 조사 연구", 한국교육시설학회지, 제4권 3호 1997,

-
- pp5~pp14.
3. 대한건축학회, “건축물의 안전진단과 보수 보강” 1993년.
 4. “조적조 건축물에 대한 내진 보강 방안”, 2001, 서울특별시.
 5. 김정수의 5인, “건축일반구조학”, 문운당.
 6. “재건축 판정을 위한 평가방안”, 시설 안전기술공단, 2000.
 7. 이준형, “통계분석”, 대영문화사, 1998.
 8. 김두섭, “회귀분석”, 민영사, 2000.
 9. Harry A. Harris, editor, “Masonry : Materials, Design, Construction, & Maintenance”, STP 992, 1988.

(접수일자 : 2003년 7월 21일)