

하중기준 변화에 따른 노후공동주택의 내진성능 향상 기법에 대한 고찰

A Study on Improving Method of Seismic-Resisting Capacity of Deteriorated Apartment Houses according to Load Change

정미영* 이수진* 박경현* 박지영** 김상연*** 윤영호****
Jung, Mi Young Lee, Su Jin Park, Kyung Hyun Park, Ji Young Kim, Sang Yeon Yoon, Young Ho

ABSTRACT

In 2000, Standard Design Loads for Building was changed especially in seismic load. According to the change, seismic-resisting capacity of deteriorated apartment houses has to be reestimated. This research is to propose seismic-strengthening and improving methods of structural efficiency of RC deteriorated apartment houses. The analysis models were shear-wall system(36/58/79m') and beam-column system(11/19/25py) which were constructed in early 1980 and didn't consider seismic load. The definite methods are addition of shear walls and lightening of load. The story-drifts of shear wall systems exceed allowable story-drifts so that two methods was applied. The story-drifts of beam-columns system satisfy allowable story-drifts, thus the latter is applied. The seismic-resisting capacity of these systems was improved by the two methods.

This research will be helpful to remodel deteriorated apartment houses.

1. 서 론

콘크리트를 주재료로 사용하여 지어진 구조물은 반영구적인 수명을 지닌 것으로 인식되어 왔으나, 건설 후 사용환경상의 요인 및 인위적인 작용 등을 받아 시간의 경과와 함께 구조물의 성능은 저하하게 된다. 우리나라에서는 경제 성장기인 70~80년대부터 지어진 많은 철근콘크리트 공동주택의 사용기간이 20~30년 이상 경과하면서 이들 노후공동주택의 유지관리 및 효율적 재생에 대한 관심이 고조되고 있는 가운데, 이를 해결하기 위해서 구조적 측면에서의 접근이 우선적으로 이루어져야 한다. 최근 국내에서도 기존 철근콘크리트조 노후공동주택의 내구성 및 안전성 문제가 크게 제기되어 기존 건축물의 유지관리, 안전진단 및 평가, 보수·보강공법에 대하여 대학과 관련업계에서 많은 관심과 연구가 진행되고는 있으나, 재료 및 보수차원에서 소극적 접근이 이루어지고 있을 뿐 노후공동주택의 구조성능 확보를 위한 구조성능 개선기술에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

이러한 상황에서 2000년에 건축물 구조기준에 관한 규칙이 지진하중의 강화를 중심으로 대폭 개정되었다. 개정에 따라 이전의 규정으로 설계되어 있던 건물의 내진성에 대한 재평가가 이루어져야 할 단계에 이르렀으나, 국가나 학·협회 등에서 기존건물의 내진성진단·내진보강 연구 및 내진진단법·내진

- * 정회원, 대한주택공사 주택연구소, 위촉연구원
- ** 정회원, 대한주택공사 주택연구소, 연구원
- *** 정회원, 대한주택공사 주택연구소, 선임연구원
- **** 정회원, 대한주택공사 주택연구소, 책임연구원

보강법에 대한 지침을 마련하지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 이러한 국내 여건을 감안하여, 하중기준 강화에 따른 철근콘크리트조 노후공동주택의 내진보강 및 구조성능 개선을 위한 보다 구체적인 방법에 대한 기법을 실어, 향후에 점점 늘어나는 노후공동주택의 리모델링에 도움이 되고자 한다.

2. 하중기준 변화의 고찰

1982년 제정, 1988년 개정된 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙과 2000년에 개정된 건축물 하중기준을 비교하면 표 1과 같다. 1982년 기준 시 설계법은 허용응력도설계법이며 하중 기준 변화와 함께 1988년부터 극한강도설계법이 추가되었다. 하중기준 변화와 설계법 변화에 따라 고정하중, 적재하중, 풍하중, 지진하중 기준이 강화되었다. 특히, 풍하중의 가스트 계수 및 중요도 계수, 지진하중의 중요도 계수 및 기본 진동 주기가 변화되었다.

표 1 하중기준의 변화

하중 종류	년도 구분	1982년도 기준	1988년도 기준	2000년도 기준
고정하중	바닥, 벽, 창호 등	2000년도 기준에서는 바닥, 벽 및 창호 등의 중량 산정 목록이 추가·세분화되었으며, 특히 신재료로의 교체 및 해체 등의 경우 이로 인한 고정하중의 변화를 검토하여 실제 상태에 맞게 산정해야한다.		
적재하중 (kg/m ²)	공동주택의 발코니, 계단	180(130) ^{*)2}	300	300
	주거용 건축물의 거실, 공용실, 복도	180(130)	200	200
설하중 (kg/m ²)	서울	50	50	50
	속초	300	300	200
	대관령	300	300	700
풍하중	가스트 계수 (노풍도 B의 경우)	1.75	1.5	2.2 ^{*)3}
	풍력 계수	이전에는 단면형상에 따라 구분되었으나, 2000년도 기준에서는 구조물의 종류와 단면형상, 단면의 폭과 높이의 비율에 따라 세분화되어 구분하였다.		
	중요도 계수 (중요도 (특)의 경우)	-	-	1.1 ^{*)4}
지진하중 ^{*)1}	지역 계수 (서울특별시의 경우)	-	0.12	0.11
	중요도 계수 (15층 이상 아파트의 경우)	-	1.2	1.5 ^{*)5}
	기본 진동 주기 (모멘트-골조가 아닌 경우)	-	$T=0.09h_n/\sqrt{B}$	$T=0.0488(h)^{3/4}$

*1 : 지진하중은 1988년도부터 하중 기준에 고려되었다.

*2 : 1982년 기준은 허용응력법에 의한 것으로 바닥 계산과 골조 계산에 적용하는 적재하중이 다르다. ()안의 숫자가 골조 계산용 적재하중이다. 1988년 이후는 극한강도설계법에 의해 설계하였다.

*3 : 2000년도 하중 기준에서는 가스트계수가 가스트영향계수로 명칭이 변경되었으며, 세분화된 구분 중 구조골조용의 경우를 비교 대상으로 하였다.

*4 : 풍하중에서의 중요도 계수는 이전 기준에는 고려되지 않았던 사항으로, 2000년도 하중 기준에서 신설되었다.

*5 : 2000년도 하중 기준에서 15층 이상 아파트가 중요도 구분 (특)으로 구분되었다.

3. 구조성능 검토

3.1 개요

1970~80년대에 지어진 벽식 구조시스템과 보-기둥 시스템에 대해서 구조설계기준 변화에 따른 구조성능 검토를 하였다. 이를 위해 3차원 구조해석 프로그램인 MIDAS GENw 4.3.1을 사용하였다. 본 적용 사례로 선택된 모델 개요 및 사용재료는 표 2와 표 3에 나타난 것과 같다.

본 연구에서는 건축물 하중 기준 변화와 설계법 변화에 따른 변위 및 벽체 배근을 비교하고, 허용

표 2 분석 모델 개요 : 벽식 구조시스템

구분	36 m ²	58 m ²	79 m ²
설계년도	1986년	1986년	1986년
구조시스템	벽식구조	벽식구조 (1층일부 필로티)	벽식구조
코어 형태	내부 삽입형	외부 돌출형	내부 삽입형
높이	전 층	40.0 m (15층)	
	기준층고	2.6 m	
설계법	허용응력도설계 - 1982년		
콘크리트강도	f _{ck} = 210		
벽 두께	내벽	12.6 / 15 / 18 cm	
	외벽	18 / 20 cm	

*강도단위: kgf/cm²

표 3 분석 모델 개요 : 보-기둥시스템

구분	5층		15층		
	11평	25평	19평	25평	
설계년도	1982년		1976년		
구조시스템	라멘구조				
코어 형태	계단식		복도식(내부삽입형)		
높이	전 층	13.5 m	14.6 m	44.75 m	44.8 m
	기준층고	2.6 m		2.9 m	
설계법	허용응력도설계 - 1982년				
콘크리트	f _{ck} =180		f _{ck} =210		

*강도단위: kgf/cm²

표 5 지진하중에 의한 층간변위 (단위:cm)

적용년도		벽식 구조시스템			보-기둥 시스템			
		36m ²	58m ²	79m ²	5층		15층	
					11평	25평	19평	25평
1988년	X방향	7.91(>3.9)	4.49(>3.9)	4.06(>3.9)	3.3162(<3.9)	2.9302(<3.9)	2.9463(<4.35)	1.7464(<4.35)
	Y방향	0.78(<3.9)	0.86(<3.9)	0.92(<3.9)	3.2827(<3.9)	2.2855(<3.9)	2.6494(<4.35)	1.5064(<4.35)
2000년	X방향	9.10(>3.9)	5.17(>3.9)	4.68(>3.9)	3.3048(<3.9)	2.9202(<3.9)	3.0586(<4.35)	1.8129(<4.35)
	Y방향	0.93(<3.9)	1.06(<3.9)	1.13(<3.9)	3.2715(<3.9)	2.2776(<3.9)	2.7503(<4.35)	1.5638(<4.35)

[주] ()는 허용변위 = h×0.015

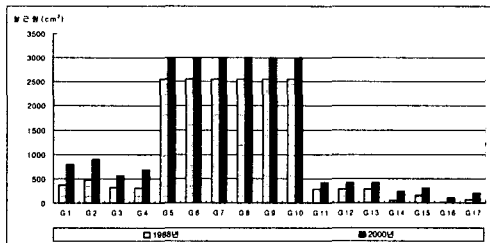


그림 1 19평형 보 상부근 보강량

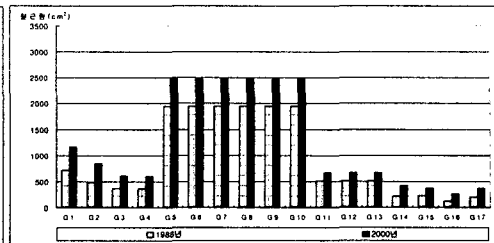


그림 2 19평형 보 하부근 보강량

변위 초과 및 철근량 부족에 대한 대응 기법을 제안하고자 한다.

허용수평변위를 초과하였을 경우 첫째, 허용변위량을 초과한 방향으로 내력벽체를 신설하여 허용수평변위량을 만족시키는 방법과 둘째, 비내력조적벽체와 온돌바닥의 하중을 경량화시키는 방법이 있다. 따라서 본 연구에서는 두 가지 기법에 의한 기존 노후공동주택의 구조성능 보강방안을 소요철근량을 중심으로 고찰하고자 한다.

제안된 기법에 대한 해석내용은 표 4와 같다. 여기서 기존 구조물의 노후화(강도저하, 처짐 등)는 고려하지 않았고 구조 시스템을 중심으로 분석하였다.

3.2 내진 성능 검토

두 가지 구조 시스템의 내진 성능 검토 결과는 다음 표 5와 같다. 벽식 구조시스템의 경우는 장변방향(X방향)의 지진하중에 의한 층간변위를 만족하지 않았고, 보-기둥시스템의 경우는 모두 만족하였다. 전자의 경우 허용층간변위를 만족하지 않으므로 벽체 신설을 하여야 한다.

부재 설계 결과 필요철근량은 보-기둥시스템의 경우 그림 1과 그림 2와 같이 나타났다. 그림에서 알 수 있듯이 장변방향 보의 필요철근량이 크게 나타났다. 벽식 구조시스템의 경우는 층간변위의 허용 범위를 만족하지 않으므로 벽체 신설 후 설계되어야 한다.

3.3 벽체 신설

보-기둥시스템의 경우 층간변위가 모두 만족하므로 벽식 구조시스템에 대해서만 벽체 신설이 필요하다. 벽식 구조시스템에서 기존 평면(Case1)에 개정된 하중 기준을 적용한 경우 허용수평변위를 만족시키기 위해 해당 방향으로 내력벽체를 신설하고(Case2, Case3, Case4), 기존 벽체와 신설 벽체에 대한 벽체 설계를 실시하였다. 조적벽체를 대체하는 신설 벽체는 횡력을 부담하는 내력벽체로서의 역할을 할 수 있도록 기존 벽체 및 슬래브와 일체거동을 하도록 접합되었다고 가정하였으며, 기존 벽체와 같이 단부보강이 고려되지 않은 등간격 배근으로 설계하였다. 변위, 벽체 설계에 따른 필요철근량을 검토한 결과는 다음과 같다.

표 4 벽체신설 순서 및 내용

Case	해석 내용
Case 1	벽체 변경없음
Case 2	화장실 (t=150mm) 내력벽체 설치
Case 3	화장실 및 안방(t=150mm) 내력벽체 설치
Case 4	화장실, 안방, 전후면(t=200mm) 내력벽체 설치
Case 5	하중 경량화

3.3.1 변위

벽식 구조시스템에 벽체를 신설한 결과 층간변위가 허용범위 내로 감소하였다. 표 6은 지진하중에 의한 층간변위의 최대값의 추이를 나타낸 것이다. 하중기준 강화에 따라 검토한 결과 2000년 하중 기준을 적용한 것이 1988년 하중 기준을 적용했을 때보다 최대 층간변위가 크게 나타났다. 벽체를 추가함으로써 층간변위가 감소하고, 그 감소비율은 장변방향으로 길이가 긴 벽체를 신설하였을 때 가장 큼을 알 수 있다.

3.3.2 벽체 설계 및 필요철근량

기존 노후공동주택에 신규 하중기준을 적용하였을 때 표 7에 나타난 것과 같이 부담 응력을 견딜 수 없는 벽체가 있다. 그러므로 벽체의 보강이 필요하다. 기존 철근량과 하중기준 변화에 따른 필요철근량을 비교하기 위하여 각 Type별로 기존 벽체의 배근 상태를 입력하고 신설 벽체는 D10부터 D22까지의 철근을 사용하여 벽체를 설계하였다. 단, 신설된 벽체의 경우 작용하는 휨모멘트, 축력 및 전단력에 대한 벽체 설계방법은 등간격배근을 적용하고 이들 결과값 중 철근량이 적게 요구되는 방향으로 배근하였다.

그 결과 하중기준의 강화에 의해 기존 벽의 수직 및 수평철근 모두 필요철근량이 증가하며, 동일한 하중기준을 적용할 때에는 신설벽체를 추가할수록 필요철근량이 감소하였다. 기존 장변방향 벽체와 계단실(코아) 벽체의 보강이 많이 필요한 것으로 나타났으며, 그림 3에서와 같이 층수가 높아짐에 따라 필요철근량은 감

표 6 층간 변위 분석

구분	적용 하중	해석 내용	층간 변위
36 m'	1982년	Case1	- 내진설계 적용안됨
		Case1	NG 7.91 cm
	1988년	Case3	OK 2.64 cm
		Case1	NG 6.18 cm
	2000년	Case3	OK 2.12 cm
		Case1	- 내진설계 적용안됨
53 m'	1982년	Case1	- 내진설계 적용안됨
		Case1	NG 4.49 cm
		Case2	OK 1.72 cm
	1988년	Case3	OK 1.61 cm
		Case1	OK* 3.82 cm
	2000년	Case2	OK 1.48 cm
		Case3	OK 1.39 cm
		Case1	- 내진설계 적용안됨
79 m'	1982년	Case1	- 내진설계 적용안됨
		Case1	NG 4.06 cm
		Case3	OK 3.32 cm
	1988년	Case4	OK 3.04 cm
		Case1	OK* 3.37 cm
	2000년	Case3	OK 2.74 cm
		Case4	OK 2.53 cm
		Case1	- 내진설계 적용안됨

* 층간변위가 허용변위(3.9cm)보다 작으나 매우 근접한 값이므로 벽체 추가

소하는 경향을 보였다. 다만 6층에서 필요철근량이 갑자기 증가하는 것은 벽두께(15/18cm)와 철근강도(2400/4000 kgf/cm²)가 저층과 상층부에서 달라지고, 단면적으로 필요철근량을 나타내었기 때문인 것으로 사료된다.

표 7 벽체 설계 결과

구분	적용 하중	Case	NG 벽체*	설계할가능 내용**
36m'		1988년 Case3	5개	계단실 및 기존 장변방향 벽체
		2000년 Case3	5개	계단실 및 기존 장변방향 벽체 저층부
58m'	1988년	Case2	3개	계단실 및 필로티 상부 벽체
		Case3	3개	계단실 및 필로티 상부 벽체
	2000년	Case2	4개	계단실, 필로티 상부, 단변방향 짧은 벽체
		Case3	3개	계단실 및 필로티 상부 벽체
79m'	1988년	Case3	3개	계단실 및 기존 장변방향 벽체
		Case4	3개	계단실 및 기존 장변방향 벽체
	2000년	Case3	3개	계단실 및 기존 장변방향 벽체
		Case4	3개	계단실 및 기존 장변방향 벽체

* 같은 하중분담면적을 갖는 벽체를 동일한 Wall Mark로 묶었을 때, 층당 설계 불가능한 벽체 개수

** '설계 불가능'이라 함은 기존에 사용된 D10과 D13으로 배근이 불가능한 것을 의미함

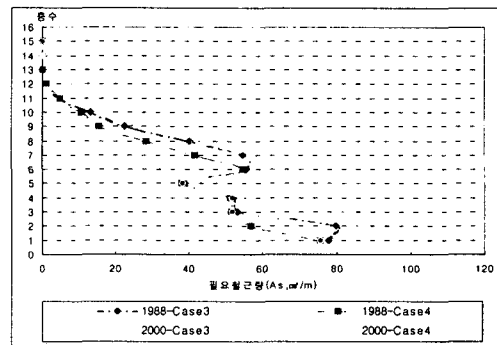


그림 3 세대당 필요철근량(79m')

3.4 하중경량화

구조 성능 향상을 위해 벽체 신설 시 발생하는 문제 중 하나는 기존 구조물의 하중 증가이다. 이는 건물 자체 중량의 증가뿐만 아니라 지진하중에 의한 횡력 증가에도 영향을 끼치게 되므로, 횡변위를 감소시키기 위해서는 기존 부재를 경량 구조물로 대체하여 구조계획을 한다. 하중 경량화 방법으로는 첫째, 기존 비내력벽인 세대 내 조적벽체를 경량벽체 시스템화하는 것이고 둘째, 온돌방의 조립식 경량온돌시스템 사용 등으로 구조물의 하중을 경량화하는 것이다. 하중 경량화를 적용한 결과, 변위와 필요철근량은 다음과 같다.

3.4.1 변위

벽식 구조시스템의 경우 지진하중에 의한 층간변위는 표 8에서 나타난 것과 같이 58m'과 79m' Type은 허용층간변위를 만족하지만, 36m' Type은 허용층간변위를 만족시키지 못한다. 이는 소형평형의 경우 기존 장변방향의 내력벽량이 작고, 세대수가 많아 장변방향으로의 건물 총 길이가 길어 하중 경량화만으로는 허용수평변위를 만족시킬 수 없기 때문이다. 그러므로 세대수가 많은 소형평형의 경우는 벽체 신설에 의한 방법으로 변위를 제어하거나 하중경량화에 추가로 벽체를 신설하여 변위를 제어하는 두 가지 방법에 대하여 경제성을 검토한 후 결정하여야 할 것으로 사료된다.

3.4.2 필요철근량

벽식 구조시스템의 필요철근량 검토는 허용 층간변위를 만족시킨 58m'과 79m' Type에 대해 신설벽체 추가 시와 동일한 방법으로 하였다. 그 결과 하중기준의 강화에 따라 1988년 하중기준보다 2000년 하중기준을 적용하였을 때 기존 벽의 수직 및 수평철근 모두 필요철근량이 증가하고, 세대 내 기존 장변방향 벽체와 코아부분 벽체의 필요철근량이 크게 나타난다. 층수가 높아질수록 필요철근량이 감소하

며, 벽체 신설의 경우와 같이 6층에서 갑자기 증가하는 것은 벽체의 두께와 사용 철근의 강도가 달라지기 때문으로 사료된다.

보-기둥시스템의 경우 하중경량화 이전에 비해 하중경량화에 의해 필요철근량이 줄어든다.(그림 4)

표 8 층간 변위 분석 - 벽식

구분	적용 하중	해석 내용	층간 변위	
36 m'	1988년	Case1	NG	7.91 cm
		Case5	NG	6.33 cm
	2000년	Case1	NG	6.18 cm
		Case3	NG	4.97 cm
58 m'	1988년	Case1	NG	4.49 cm
		Case5	OK	3.62 cm
	2000년	Case1	OK	3.82 cm
		Case5	OK	3.08 cm
79 m'	1988년	Case1	NG	4.06 cm
		Case5	OK	3.25 cm
	2000년	Case1	OK	3.37 cm
		Case5	OK	2.72 cm

* 층간변위가 허용변위(3.9cm)보다 작으나 매우 근접한 값이므로 하중경량화

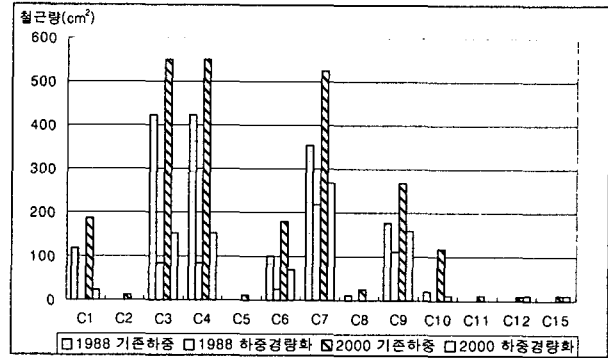


그림 4 하중경량화에 의한 필요철근량 비교 - 라멘식 19평

4. 결론

하중기준 강화에 따른 노후 공동주택의 구조성능 확보를 위한 향상기법은 다음과 같다.

- (1) 지진하중이 적용되기 이전에 설계된 벽식 구조시스템 중 소형 평형인 36 m' 과 58 m' Type은 기존 장변방향의 내력벽체가 존재하지 않거나 그 벽량이 소량이므로 반드시 벽체를 추가하여야 한다. 벽체의 신설은 허용수평변위가 초과되는 방향의 조적벽체 중 길이가 가장 긴 것부터 우선적으로 대체한다. 변위가 제어될 때까지 벽체를 추가 신설한다.
- (2) 벽식 구조시스템은 벽체 신설 후 장변방향 벽체와 코아부분의 벽체에 많은 보강이 필요하다.
- (3) 보-기둥시스템은 개정된 하중기준 적용 시 층간변위가 모두 만족하므로 벽체 추가가 필요 없이 부재의 보강이 필요하며 특히, 장변방향의 보의 보강량이 크게 나타난다. 다만, 보 및 기둥의 보강량이 과대할 때는 벽체추가에 의한 응력 분산의 방법도 고려할 수 있다.
- (4) 하중경량화 결과 건물의 자중을 감소시켜 지진하중을 감소시키는 효과가 있다. 벽식 구조시스템 중 58m' 과 79m' Type의 경우에는 허용 층간 변위를 만족시키나 36m' Type의 경우 하중경량화 만으로는 허용 층간변위를 만족시키지 못한다. 보-기둥시스템의 경우는 변위는 모두 만족하고 하중경량화 이전에 비해 필요철근량이 줄어든다

본 연구는 건설교통부(한국건설기술연구원) '99 산·학·연 공동연구개발사업의 일환으로 2차년도 연구비 지원에 의하여 이루어졌음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

1. 대한주택공사, "노후공동주택의 구조성능 개선을 위한 구조계획기법 개발", 대한주택공사, 2000. 11.
2. 대한건축학회, "건축물 하중기준 및 해설", 대한건축학회, 2000. 6.
3. 윤상대, "일본의 콘크리트 특수 보수·보강 기법", 콘크리트학회지, 제7권, 제6호, 1995. 12.
4. 日本コンクリート工学会, "既存鉄筋コンクリート構造物の耐震補強ハンドブック", 技報堂出版刊, 1984. 10.