

손상된 벽식 아파트 구조의 내진성능평가

Seismic Performance Evaluation of Damaged Apartment building

김 동 영* 장 극 관** 서 대 원* 천 영 수***
Kim, Dong Young Chang, Kug Kwan Seo, Dae Won Chun, Young Soo

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate resistance capacity of the damaged wall structural system against earthquake ground accelerations. Two lumped damage models(5 story, 12 story) are investigated by nonlinear time history analysis.

As a result of analyses, the effect of stiffness degradation due to structural damages might change the interstorydrift of the structure. Therefore the increasing interstorydrift of damaged structures might be applied to evaluate the seismic performance of damaged structures.

1. 서 론

구조 부재의 파괴 같은 구조물의 심각한 손상이 발생하였을 경우에는 외관조사만으로 구조물의 손상을 판별할 수 있다. 그러나 아파트와 같은 대형 건축물에서는 일부부재가 손상을 입었을 때 구조의 복잡성 때문에 외관조사만으로는 손상정도를 찾아내는 것은 상당히 어려운 일이다. 또한 재료의 노후화에 의한 손상은 외관상의 변화가 없기 때문에 외관조사에 의해서는 발견하기가 어렵다.

이러한 구조물의 손상의 결과로써 나타나는 현상은 부재에 대한 강성의 감소로 나타나며, 손상 전·후의 강성의 차이가 구조물의 손상을 나타낸다고 할 수 있으며, 하중-저항 능력과 같은 구조물의 고유특성을 구조물의 손상정도를 평가하는데 이용할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 건물의 층모델을 사용한 동적비선형 해석을 수행하여, 부분손상된 구조물의 손상정도에 따른 층강성의 변화에 따라 층간변위량의 증가를 조사하여 건물의 내진성능 및 보강여부를 판단하고자 하였다.

2. 층간변위기준

해외 각국의 내진규준에서는 각기 지반조건과 건물의 형식에 따라 층간변위기준을 정하고 있다. 국내 기준과 외국의 주요기준을 살펴보면 다음과 같다.

* 정회원, 서울산업대학교 건축공학과 대학원
** 정회원, 서울산업대학교 건축학부 부교수
*** 정회원, 대한주택공사 주택도시연구원

2.1 UBC(Uniform Building Code, 미국)¹⁾

UBC97에서는 층간변위가 아닌 전체 응답에 대한 제한을 하고 있다. 즉, 전체 응답 Δ_M 이 건물의 고유주기가 0.7초 이하인 건물에서는 층높이의 0.025배를 초과할 수 없으며, 0.7초를 넘는 건물에서는 전체 층높이의 0.02배를 초과할 수 없도록 하고 있다. 여기서 사용되는 건물의 응답변위 Δ_M 은 다음식에 의하거나 시간이력해석에 의하여 구한다.

$$\Delta_M = 0.7 R \Delta_S \quad (1)$$

여기서, Δ_M : 최대비선형응답변위

R : 반응수정계수

Δ_S : 설계지진하중에 의한 응답변위

2.2 건축기준법(Building Standard Law, 일본)²⁾

일본의 건축기준법에서는 높이 60m이하의 건축물의 내진설계에 있어서 두 단계의 지진하중을 고려한다. 즉, 사용연한 중에 몇 번은 있을 정도의 지진(moderate earthquake)에 대해 기능유지를 할 것과 철근의 항복은 허용하지 않으며, 사용연한중 1회 정도 경험이 예상되는 대지진(severe earthquake)에 대해 건물의 붕괴를 방지할 것을 요구한다. 또한 특정층에 대한 변형의 집중방지를 위해 강성률을 60%이상으로 제한하며, 사용한계 지진에 대해 층간변형각은 1/200 이하로 제한하고 있다.

2.3 건교부 하중기준(한국, 2000)³⁾

층간변위는 임의의 층의 주두와 주각에서 생기는 수평변위량의 차로 정의되며 각 층에서 발생하는 변위량은 그 층의 0.015배를 초과할 수 없다. 이러한 층간변위는 구조형식에 관계없이 일정하게 적용된다.

3. 해석 모델

3.1 해석대상건물

해석대상 건물은 Fig.1 과 같은 전형적인 아파트건물로서 그림 1에 나타낸 것처럼 장변방향의 벽량이 단변방향에 비해 적은 구조로서 단변에 비해 장변방향의 강성이 상대적으로 작은 형태이며, 본 연구에서는 장변방향에 대해서만 해석을 수행하였다.

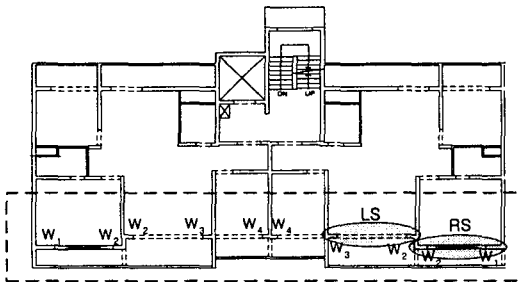
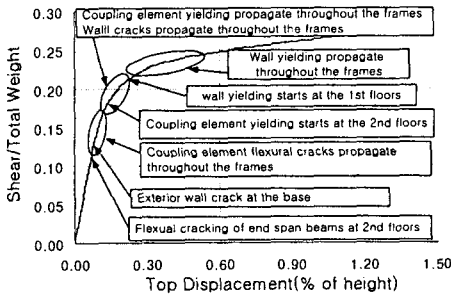


그림 1 해석대상건물의 평면

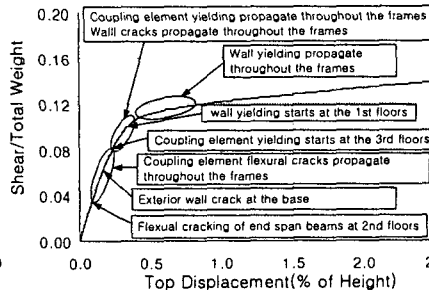
3.2 건물의 모델화

해석대상 건물의 연결부재의 거동특성을 파악하기 위하여 장변방향의 개구부의 연결슬래브(LS) 및 역 T형 연결보(RS)를 대상으로 실물크기의 구조실험을 실시하였으며⁴⁾, 실험결과를 바탕으로 부재모델의 주곡선, 강성저하 및 강도감소의 특성을 구하였다. 산출된 연결부재의 이력변수를 고려하여 5층, 12층 골조의 정적 비선형 해석(push-over analysis)을 실시하였으며 각 층의 초기강성, 항복 후 강성, 강성저하 및 강도감소의 이력특성을 파악하였다. 연결부재의

실험결과를 반영한 골조의 정적해석결과가 그림 2에 도시되었다. 그림 2는 전체골조의 응답에서 각 부재의 균열 및 항복시점등의 성능곡선을 나타내고 있다.



(a) 5층 모델



(b) 12층 모델

그림 2 비선형정적해석에 의한 성능곡선

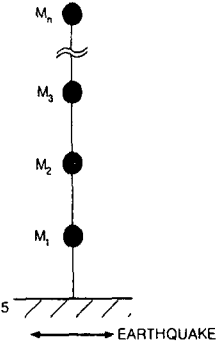


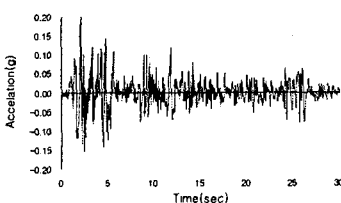
그림 3 해석에 사용된 층모델

3.3 층모델

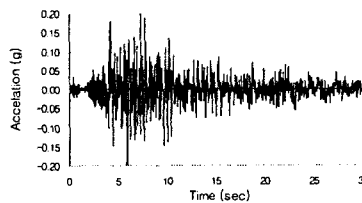
건물골조의 지진응답해석에서 많이 이용되고 있는 방법은 건물의 진동특성을 각 층별의 강성과 내력으로 평가하여 건물의 각 층을 직렬로 연결하는 형태의 모델화 방법이다. 즉, 각 층 슬래브의 위치에 질량을 집중시켜서 한 층당 일자유도를 갖는 층모델을 구성한다. 본 연구에서 사용된 단순화된 층모델 및 해석방법을 그림 3에 도시하였으며, 해석모델의 초기강성 및 항복후 강성 등은 표 1과 같다. 표 2는 해석모델의 반복하중에 의한 해석 후 적용된 강성 저하 및 강도 감소계수를 나타내었다. IDARC에서는 강성저하의 경우 0.1(severe degradation)~200(negligible degradation), 강도감소의 경우 0.0(no deterioration)~0.4(severe deterioration)의 범위에 적절한 값을 사용할 수 있다. 본 연구에 사용된 층모델의 경우 표 2에서 보는 바와 같이 강성저하에 있어서는 거의 일반적인 값을 나타냈으며, 강도감소는 다소 큰 값을 나타내었다.

3.4 동적비선형 해석

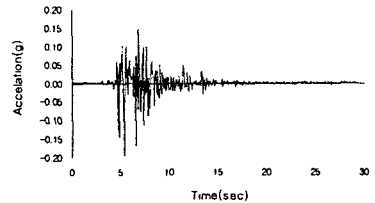
본 연구에서는 시간이력해석에 일반적으로 많이 사용되어지는 El Centro 1940 NS, Taft 1952 EW, Kobe 1995 NS 파형(그림 4)을 사용하여 가장 반응이 큰 값으로 결과를 분석하였다. 본 해석에 사용된 지진파는 각각 가속도의 크기가 동일하지 않기 때문에 일정하게 조정할 필요가 있다. 본 연구에서는 최대지반가속도를 일정하게 하여 해석을 수행하였으며, 최대지반가속도를 0.2g로 일정하게 조정하여 사용하였다.



(a) El-Centro 1940 NS



(b) Taft 1952 EW



(c) Kobe 1995 EW

그림 4 해석에 사용된 입력지진동

3.5 해석방법

해석에 사용된 모델의 층강성을 층별로 저감시켜 건물의 손상을 임의로 설정하였으며, 5층, 12층 모델에 대한 해석을 수행하였다. 사용 프로그램은 비선형해석프로그램인 IDARC 5.0을 사용하였으며, 10%, 20%의 층강성 손상을 1개층, 각각의 조합에 의한 다층 손상으로 나누어 해석을 수행하였다.

표 1 해석대상건물의 비선형 정적 해석결과

(a) 5 story building

층	층고(m)	무게(KN)	항복변위(mm)	항복층전단력(KN)	초기강성(K ₀ , KN/mm)	항복후 강성(KN/mm)
5	2.6	724.6	1.4	148.7	110.2	초기강성의 1.5%
4	2.6	724.6	1.9	253.3	134.2	
3	2.6	724.6	2.3	341.2	145.3	
2	2.6	724.6	2.7	442.6	163.6	
1	2.6	724.6	1.8	503.5	281.9	

(b) 12 story building

층	층고(m)	무게(KN)	항복변위(mm)	항복층전단력(KN)	초기강성(K ₀ , KN/mm)	항복후 강성(KN/mm)
12	2.6	724.6	3.8	102.4	28.2	초기강성의 1.5%
11	2.6	724.6	4.6	198.5	45.3	
10	2.6	724.6	5.1	273.4	56.8	
9	2.6	724.6	5.4	336.2	65.2	
8	2.6	724.6	5.8	401.1	71.5	
7	2.6	724.6	6.4	465.8	76.9	
6	2.6	724.6	6.7	520.9	82.2	
5	2.6	724.6	6.7	560.2	88.4	
4	2.6	724.6	6.7	598.5	95.9	
3	2.6	724.6	6.2	625.1	107.6	
2	2.6	724.6	5.1	638.1	132.1	
1	2.6	724.6	2.9	669.5	250.3	

표 2 수정된 입력변수

부재	강성		강성저하계수	강도감소계수
	초기강성	항복이후		
기둥요소	비선형정적해석값(표 1)		9	0.2

4. 해석결과 및 성능평가

4.1 해석결과손상도의 평가방법

구조적 손상의 결과로써 나타나는 현상은 부재에 대한 강성의 감소로 나타나고, 해당층의 동적하중에 대한 응답변위는 커지게 된다. 이러한 변화량은 층에 따라 상이하게 나타나기 때문에 손상전후의 차이값을 사용하여 구조물의 성능을 평가하는데 이용할 수 있다.

구조물에 발생하는 과도한 횡변위는 구조물의 변형의 원인이 되며 이로 인해 구조 및 비구조 요소의 손상을 유발할 수 있다. 따라서, 국내 내진규준에서도 구조시스템 및 강성에 관계없이 층높이의 1.5%로 층간변위를 제한하고 있다. 그러나 NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Building(FEMA 273)⁵⁾에서는 구조 시스템에 따라, 구조물의 성능수준(Structural Performance Levels)

의 평가를 위한 층간변위기준을 세분화하여 제한하였으며, 벽식구조의 경우 표 3과 같다.

표 3 벽식구조물의 구조성능기준(Structural Performance Level of Wall Structures)

층간변위(%)	상 태
0.5% (일시변형)	구조요소와 비구조요소의 손상이 발생하지 않거나 또는 최소한의 손상이 발생
1.0% (일시변형) 0.5% (영구변형)	구조요소와 비구조요소에 광범위한 손상이 발생. 반드시 보수해야함
2.0% (영구, 일시변형)	비구조요소의 붕괴로 인명안전에 심각한 위험을 줄 수 있다.

그러나 이러한 기준은 국내의 벽식구조와는 벽체의 두께나 경계부재의 유무, 연결부재의 강성차이 등 많은 차이가 있으며, 국내 벽식 아파트 구조에 그대로 적용하기에는 어려움이 있는 것으로 판단된다. 일련의 벽식구조의 해석결과와 기존 국내연구의 검토결과 본 연구에서는 연결부재가 항복을 경험하게 되는 층높이의 0.3%의 층간변위를 보수가 필요한 최소한계로 설정하였으며, 층간변위 1.5%가 넘어서면 구조부재(벽체)의 항복 및 파괴가 발생하여 더 이상의 건물기능수행이 불가능할 것으로 판단되어, 각 손상단계에 따른 보수 및 보강범위를 표 4와 같이 정의하였다.

표 4에 나타난 바와 같이 국내 벽식구조의 경우 표 3의 NEHRP 성능기준에 비해 작은 값에 부재의 손상 및 보수기준이 설정되었다. 이는 국내의 연결부재(슬래브 및 보)의 거동이 고려된 결과로 판단되며, 앞으로 충분한 검증 및 보완이 필요할 것으로 판단된다.

표 4 해석에 의한 국내 벽식구조물의 성능평가기준(Damage indices of wall structures)

층간변위(%)	상 태
0.0~0.3	구조요소와 비구조요소의 최소한의 손상이 발생
0.3~0.5	구조요소에 최소한의 손상이 발생하며, 연결부재 등에 항복이 발생. 기능수행을 위해 보수가 필요
0.5~1.5	구조요소와 비구조요소에 광범위한 손상이 발생
1.5	보수하는 것이 경제적으로 비현실적

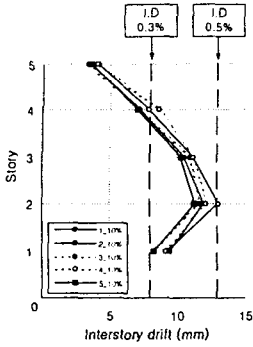
4.2 손상된 건물의 성능평가

그림 4는 지진응답시 전 응답시간을 통해 층간변위가 최대가 되는 값은 나타낸 것으로 1개층 10%, 20%, 2개층 10%, 20%의 층강성저하시의 해석결과이다.

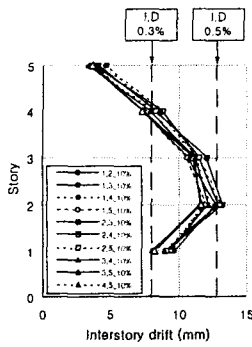
5층모델의 경우 2층 10% 손상시에 건물의 내진안전성을 평가하면, 2층이 매우 큰 변형을 일으키고 있고, 0.5%를 넘는 층간변위를 나타내어 이 부분에 보강이 필요함을 알 수 있다. 1, 3, 4층의 경우도 0.3%이상의 층간변위 응답을 나타내어 보수가 필요함을 알 수 있다.

5. 결 론

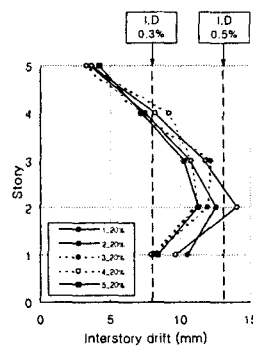
- 1) 실험에 의한 연결부재의 특성을 고려한 층모델을 사용하여 동적비선형해석에 의하여 건물의 손상도에 따른 보강여부를 판정할 수 있었다. 그러나 층모델의 거동은 입력지진동에 따라 많은 영향을 받으므로 건물의 손상정도를 정확하게 판정하기 위해서는 다양한 입력지진동의 사용과 보다 세분화된 손상지표가 필요할 것으로 판단된다.
- 2) 향후 성능평가방법으로서 손상도에 따른 동적해석결과를 사용하기 위해서는 손상정도에 따른 층간변위비에 대한 연구 및 평가 프로그램에 대한 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.



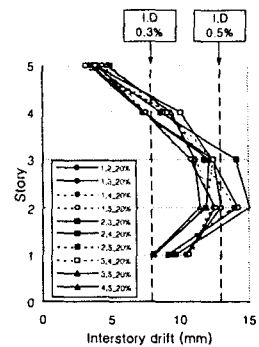
(a) 강성저하 10%(1개층)



(b) 강성저하 10%(2개층)

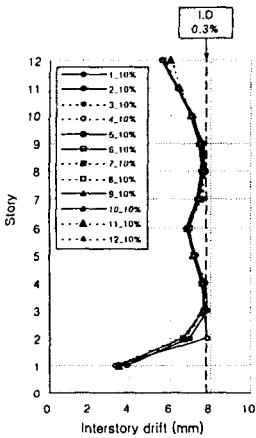


(c) 강성저하 20%(1개층)

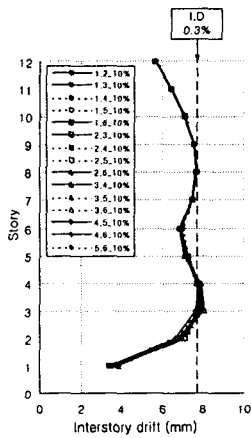


(d) 강성저하 20%(2개층)

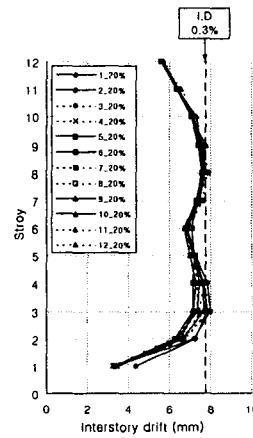
그림 4 5층건물의 층손상에 의한 지진응답



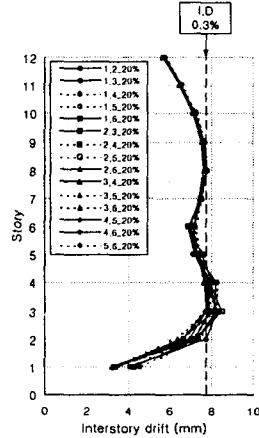
(a) 강성저하 10%(1개층)



(b) 강성저하 10%(2개층)



(c) 강성저하 20%(1개층)



(d) 강성저하 20%(2개층)

그림 5 12층건물의 층손상에 의한 지진응답

감사의 글

본 연구는 건설교통부 99 산학연 연구개발사업(과제번호: 건축-06-01)내용의 일부로서 한양대학교 초대형구조시스템연구센터의 지원을 받았으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. ICBO, Uniform Building Code Vol.2, International Conference of Building Officials, 1997.
2. V. C. Bertero, J. C. Anderson, H. Krawinkler, E. Miranda, CUREe-Kajima Research Teams, "Design Guidelines for Ductility and Drft Limits," Report UCB/EERC-91/25, University of California at Berkeley, July 1991, pp. 55-57.
3. "건설교통부제정 건축물 하중기준 및 해석," 대한건축학회, 2000.
4. 장극관, 서대원, 천영수, "벽식아파트구조에서의 연결부재의 거동특성," 한국콘크리트학회 논문집, 제14권 1호, 2002. 2, pp. 83-91.
5. "NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings," Federal Emergency Management Agency, October, 1997.