



기존 철근콘크리트 벽식 공동주택의 내진 성능 예비 평가법에 관한 연구

정 란¹⁾ · 우성식¹⁾ · 최기영¹⁾ · 박태원^{1)*}

¹⁾단국대학교 건축공학과

Seismic Performance Preliminary Evaluation Method of Reinforced Concrete Apartments with Bearing Wall system

Lan Chung¹⁾, Sung-Sik Woo¹⁾, Ki-Young Choi¹⁾, and Tae-Won Park^{1)*}

¹⁾Dept. of Architectural Engineering, Dankook University, Seoul 140-714, Korea

ABSTRACT In Korea, the seismic design regulations was established since 1988 about regularity scale of structures. However, It was not established about seismic performance and evaluation method as the most existing buildings was constructed before Earthquake-Resistant Design(1988). In this study, for model structures which are 4 units of non-seismic designed apartment and 3 units of seismic designed in Korea performed seismic performance evaluation by suggested KISTC (2004). And the result compare to evaluate Capacity Spectrum Method by using MIDAS Gen and SDS. As a result, we observed that suggested KISTC's method have overestimated for shear stress and drift index. The purpose of this study provides most conformity seismic performance evaluation process and the appropriate method of calculating the seismic performance index in Korea.

Keywords seismic design code, seismic performance, wall-type apartment, shear stress, drift index

1. 서 론

지진은 지구 내부에 축적된 에너지가 지각을 뚫고 급작스럽게 표출되는 현상으로, 이런 지각 변동의 현상은 지구촌 곳곳에서 끊임없이 발생되고 있다. 우리나라는 그동안 큰 지진이 없는 것으로 생각되어 지진에 대하여 안전한 지역으로 생각되어 왔으나, 기상청 국가지진정보센터의 자료¹⁾에 따르면 Fig. 1과 같이 우리나라 전 지역에 걸쳐 지진이 발생하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 규모 5 이상의 큰 지진도 다수 발생하고 있는 것으로 나타나 지진에 대해 안전하다고 생각할 수 없는 실정이다. 만일 이러한 지진이 서울과 같은 대도시에서 발생하면 주변국의 피해 상황을 참고 할 때 그 물질적 피해만도 그 규모를 짐작할 수 없을 정도이며, 이로 인한 인명 피해나 정신적인 피해는 형용할 수 없을 정도일 것으로 예상된다. 일본이나 대만 등 내진설계를 수행한 지역에 있는 건축 구조물들은 지진 발생 시 그 피해 규모를 최소화 할 수 있을 것으로 조사되었다. 이에 우리나라에서도 지진의 위험성을 인지하고 내진설계의 중요성을 인식하여 건설교통부에서는 “건축 구조물의 내진구조 및 방재에 관한 연구 (대한건축학회, 1988)”를 기초로, 내진설계

를 위한 시행령을 제정하여 1988년 7월 1일 부터 15층 이상의 공동주택에 대하여 내진설계를 의무화하였고, 2005년에는 건축허가를 받는 3층 이상 또는 연면적 3백평 이상으로 강화되었다. 그러나 건축물에 내진설계가 처음 도입된 1988년 이후 1990년대 초반까지는 내진설계에 대한 개념이 부족하고, 실제 지진에 대한 설계 경험이 거의 없어 구조설계 실무자들이 내진설계를 적용하는데 적지 않은 어려움을 겪었을 뿐만 아니라, 실제로 부실한 내진설계 건물이 양산된 것이 현실이다.

또한 건축 후 20~30년이 경과한 공동주택의 경우, 사회적 환경 변화와 다양화에 따라 일부 증축이나 연면적 증가가 동반되는 리모델링 수요가 나타나고 있으나, 이들은 모두 내진설계규정 도입 이전에 설계된 건축물로서 대부분 내진설계가 이루어지지 않아, 이러한 구조물을 리모델링 할 때 내진 성능을 정확하게 평가하고 그에 대한 보강을 수행해야 할 필요성이 제기되고 있다. 특히 1980년대부터 급속도로 보급되기 시작한 철근콘크리트 벽식 구조물의 경우 시공의 편의성을 위해 장변 방향으로 거의 벽체를 배치하지 않아 내진 성능이 매우 저조할 것으로 판단된다.

이런 공동주택들에 대한 내진 성능 평가는 현재 한국 시설안전기술공단에서 제시한 ‘국내 건축 구조물의 내진 성능 평가 기법 및 그 해설²⁾’ 방안으로 내진 성능 평가가 이루어지고 있으나^{3,4)} 연구 대상 구조물과 같은 내진설계

*Corresponding author E-mail : tw001@dankook.ac.kr
Received October 23, 2006, Accepted April 30, 2007
©2007 by Korea Concrete Institute

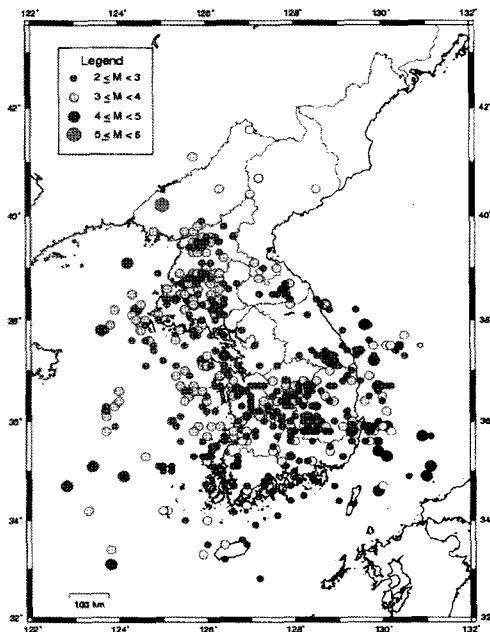


Fig. 1 Map of distribution for epicenter (Korea Meteorological Administration, 1978~2002)

되지 않은 노후 공동주택은 횡력을 전단벽이 부담하는 전단벽식 구조물이 아니므로 이를 직접 적용할 수 없는 실정이다. 따라서 내진 성능 평가시 철근콘크리트 골조식 구조물에 대한 평가 방안을 준용하여 사용하고 있는 실정으로 그 정확성을 기대할 수 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 내력벽식 구조 공동주택의 내진 성능을 평가하고, 이에 대한 검증을 통하여 내진 성능 평가 결과의 적절성을 파악하는 기초 자료를 제시하기 위하여 수행하였다.

2. 연구 내용 및 방법

본 연구에서는 공동주택의 내진 성능을 평가하기 위하여 대상 구조물의 선정을 1988년 내진설계 의무화 이전의 공동주택 4개동과 내진설계 도입이후의 공동주택 3개동을 선택하여 연구를 수행하였다. 대상 구조물에 대해서 기존에 적절하다고 판단되어 실무에 사용하고 있는 2004년 한국시설안전기술공단에서 제시한 ‘기존 건축물의 내진 성능 평가 요령’으로 내진 성능 예비 평가를 수행하였다.

지진하중의 산정은 KBC - 2005⁵⁾에 제시된 기준을 적용하였다. 그러나 내진 성능 예비 평가에서 내진설계되지 않은 공동주택의 경우 장변 방향으로 작용하는 벽이 없어 전단벽식 구조물로 분류할 수 없으나, 적용할 수 있

는 구조 형식이 따로 제정된 것이 없어 전단벽식 구조물의 평가법을 준용하여 사용하였다. 이 평가법은 지진력 등의 횡력을 구조물의 전단벽이 부담하는 구조 형식이지만 우리나라의 내진설계 도입 이전의 기존 공동주택들은 장변 방향으로 전단벽이 거의 없어 전단벽식 구조물의 평가법으로 적용하기엔 다소 무리가 따른다. 내진 성능 상세 평가는 ATC-40⁶⁾과 FEMA 273⁷⁾에서 제시한 push-over 해석의 결과를 이용한 능력스펙트럼법 CSM (capacity spectrum method)을 이용하여 범용 구조해석 프로그램인 MIDAS-Gen과 MIDAS-SDS를 이용하여 구조물의 내진 성능을 평가한 후, 내진 성능 예비 평가에서 수행한 결과와 비교·분석 하였다.

3. 대상 공동주택의 분류 및 개요

연구에 수행된 공동주택은 현재 서울시 및 경기도에 소재하는 현존 구조물로 내진설계 도입 이전 구조물 군은 준공 시기는 1980~1982년으로 현재 23~25년이 경과한 노후 공동주택이며, 내진설계 도입 이후 구조물 군은 1992~1995년에 준공된 10~13년이 경과된 구조물로 건물 개요는 Table 1과 같다.

3.1 내진설계 도입 이전의 공동주택

공동주택 A~D동은 내진설계 도입 이전의 공동주택으로 준공된 지 20년 이상 경과된 구조물들로 Figs. 2~5는 모델 구조물의 기준층의 구조 평면도이다. A~D동에서 전체 바닥 면적에 대한 전단벽의 면적을 나타내는 전단벽량이 각각 0.32%, 0.17%, 0.24%, 0.25%로 구조물의 장변 방향 (X 방향)으로 벽이 거의 배치되어 있지 않기 때문에 장변 방향 (X 방향)의 횡강성이 매우 낮은 구조물로 판단되며, 이러한 공동주택에 장변 방향 지진 하중이 작용할 경우 구조물에 큰 피해가 발생될 것으로 판단된

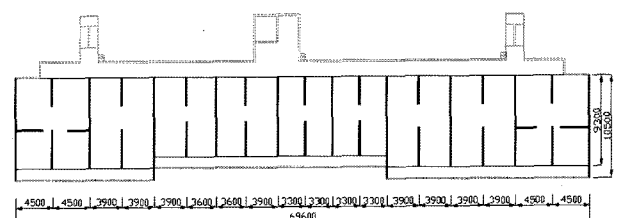


Fig. 2 Structural plan for model "A" (unit : mm)

Table 1 Summary of model structures

	Model	Base shear (kN)	Period (sec)	Height (m)	Floors	Area (m ²)	Section of wall (m ²)	Weight (kN)
Before seismic design	A	11,410	0.76	39	15	737	2.36	118,070
	B	11,990	0.73	36.4	14	1,096	1.88	111,617
	C	5,596	0.76	39	15	580	1.38	54,840
	D	1,931	0.34	13	5	485	3.02	16,483
Application of seismic design	E	8,538	0.88	46.8	18	482	12.84	95,990
	F	7,802	0.76	39	15	738	15.67	76,460
	G	8,440	0.76	39	15	591	15.43	82,752

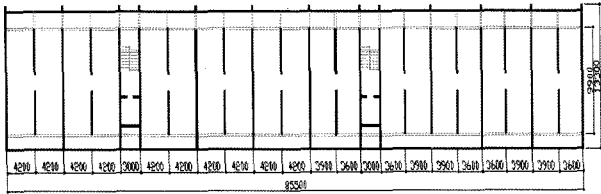


Fig. 3 Structural plan for model "B" (unit : mm)

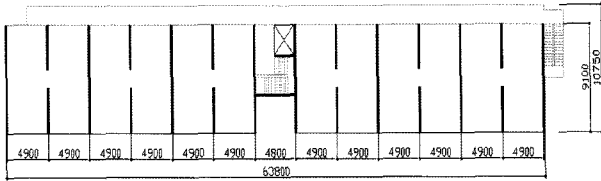


Fig. 4 Structural plan for model "C" (unit : mm)

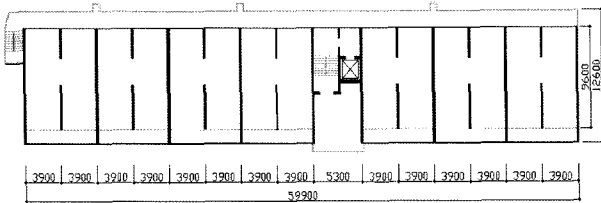


Fig. 5 Structural plan for model "D" (unit : mm)

다. 따라서 내진 성능 평가를 수행하면 횡력을 부담하는 구조 부재, 즉 벽량이 매우 적은 것으로 나타나 매우 낮은 내진 성능을 보일 것으로 예상되어지는 구조물이다.

3.2 내진설계 도입 이후의 공동주택

공동주택 E~G동은 내진설계 도입 이후의 공동주택으로 Figs. 6~8은 모델 구조물의 기준층의 구조 평면도이다. 공동주택 E~G동의 전체 평면에 대한 전단벽량은 각각 2.66%, 2.81%, 2.12%, 2.60%로 구조물의 장변 방향(X 방향)으로 벽이 적절히 배치되어 장·단변 방향으로 지진하중이 입력될 경우 저항 요소가 양 방향 모두 존재하는 내진 성능을 갖춘 구조물로 판단된다.

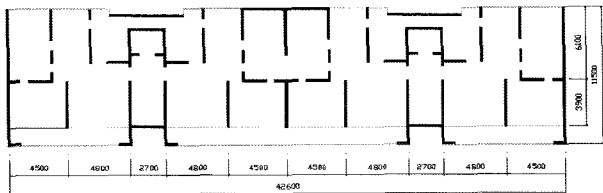


Fig. 6 Structural plan for model "E" (unit : mm)

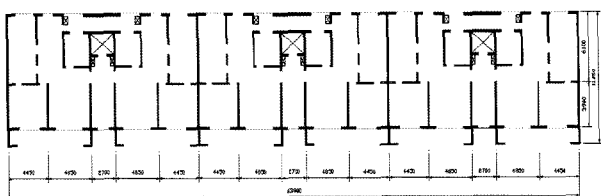


Fig. 7 Structural plan for model "F" (unit : mm)

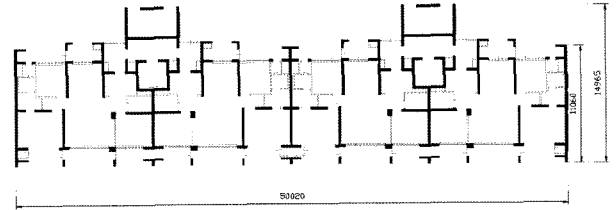


Fig. 8 Structural plan for model "G" (unit : mm)

4. 내진 성능 평가

4.1 내진 성능 예비 평가

내진 성능 예비 평가는 강도, 강성, 형상, 상세 및 기타 항목으로 구분하여 평가²⁾하며, 각 항목 당 3~4개의 소항목으로 분류하여 각각의 내진 성능을 평가하고 있다. 전체적인 성능 평가는 각 항목별 점수를 합산한 후, 각 항목별 가중치를 적용하여 총 점수를 산정하고, 그 점수를 구분하여 내진 성능 예비 평가를 수행하였다.

4.2 내진 성능 예비 평가 항목별 분석

모델 구조물 7개 동에 대하여 내진 성능 예비 평가를 다음과 같이 수행하여 내진설계가 수행된 구조물과 내진설계가 수행되지 않은 구조물의 내진 성능 예비 평가 결과를 비교하였다.

4.2.1 강도 항목

강도 항목은 구조물에 지진하중이 작용하였을 경우 지진하중에 저항하는 능력에 대한 평가를 전단응력, 약층, 신뢰계수 (일부 부재가 항복하게 될 경우 하중 분산이 이루어지는 정도)를 계량화하여 평가하는 항목으로 전체 평가 총점의 30%를 만점으로 평가하는 항목이다. 강도 항목 평가에 대한 결과를 Table 2에 나타내었다.

1) 전단응력

모델 구조물에 대한 전단응력 평가는 내진설계가 수행되기 이전의 구조물보다 내진설계가 수행된 구조물들의 점수가 높게 평가 되었다. 이는 내진 성능 예비 평가에서는 부재의 단면적만을 이용하여 평가하기 때문에 벽량이 많을수록 평가 점수가 높아지기 때문에 내진설계 도입 이후의 평가 점수가 다소 높게 평가되는 것으로 판단된다.

2) 약층

약층에 대한 평가 결과는 상부층의 전단강도비를 대상으로 평가하는데, 모델 대상 구조물 전체에 대하여 상부층과 전단강도비가 모두 20% 미만으로 평가되어 약층이 발생하지 않았다. 이는 1980년대부터 90년 말까지 설계된 구조물의 경우, 대부분 유사한 평면을 갖고 있지만, 2000년 이후에 건축된 주상복합 공동주택의 경우 최하층에 필로티 (pilotis)가 구성되어 있어 상층부와 필로티

Table 2 Evaluation for strength

Content	Before seismic design				Application of seismic design		
	A	B	C	D	E	F	G
Shear stress	0.205	0.207	0.213	0.210	0.317	0.6	0.44
Weak floor	1	1	1	1	1	1	1
Trust factor	1	1	0.9	0.8	1	1	1

Table 3 Evaluation for stiffness

Content	Before seismic design				Application of seismic design		
	A	B	C	D	E	F	G
Drift	0.2	0.2	0.2	0.2	0.28	0.3	0.3
Floor stiffness	1	1	1	1	1	1	1
Adjacency	1	1	1	1	1	1	1

기둥간의 구조적 전이층이 발생할 것으로 예상되어 약층이 발생할 가능성이 있을 것으로 판단된다.

3) 신뢰계수 (잉여력)

지진력에 의한 단일부재의 파괴가 전체 구조물의 붕괴로 이어질 경우 발생하는 위험성을 검토하는 잉여력 평가에서는 내진설계 구조물의 경우 단일 부재의 파괴에 대한 잉여력이 존재하는 것으로 나타났으며, 비내진설계 구조물은 일부 구조물에서 잉여력이 다소 떨어지는 것으로 나타났다. 또한 평면의 크기가 커질수록, 잉여력 평가는 신뢰잉여계수가 작아져 유리한 것으로 평가되었다.

4.2.2 강성 항목

강성 항목은 구조물에 지진하중이 작용하였을 경우 과도한 변형이나 변위로 인하여 구조물이 붕괴되지 않도록 하는 능력을 계량화하여 평가하는 항목으로 강도 항목과 동일하게 총점의 30%를 만점으로 하여 평가하는 항목이다. 강성 항목의 평가 결과를 Table 3에 나타내었다.

1) 층간 변위

층간 변위는 켈틀레버 구조로 가정하여 층간 변위를 구하였다. 장변 방향 지진력에 저항할 수 있는 전단벽이 충분이 존재하는 내진설계가 적용된 공동주택은 내진설계 도입 이전의 공동주택보다 다소 점수가 높게 나타났으

Table 4 Evaluation for shape

Shape	Before seismic design				Application of seismic design		
	A	B	C	D	E	F	G
Route of load	1	1	1	1	1	1	1
Variation of plan	1	1	1	1	1	1	1
Variation of mass	1	1	1	1	1	1	1
Torsion	1	1	1	1	1	1	1

나, 이 역시 층간 변위 허용치인 0.015를 모두 만족하지는 못한 것으로 나타나 내진설계 도입 이전과 이후의 점수 차이가 크지 않았다.

2) 연약층과 인접성

연약층의 경우 공동주택에서는 모든 층의 용도가 일정하여 특별히 강성이 약하게 나타나는 층이 없었으며 인접성은 지진 발생 시 구조물에 진동이 가해지며, 인접한 구조물 사이에 충돌이 일어날 가능성을 평가하는 기준이다. 하지만 공동주택의 경우 인동 간격을 일정 규모 이상으로 유지하게 되어 있어 두 평가 항목 모두 허용 기준을 모두 만족하는 것으로 나타나, 모두 소항목 점수를 만점인 1점으로 부과되었다.

4.2.3 형상 항목

평가 대상 공동주택의 특성상 내진설계 도입 이전과 이후 공동주택의 구조 시스템의 변화가 없어 Table 4와 같이 하중 경로, 평면 및 질량 변화, 비틀림 모두 허용치를 만족하는 결과로 평가되어 내진 성능 예비 평가 시 모두 1점 만점이라는 점수를 얻어 전체 점수에는 영향을 주지 못하는 항목으로 평가되었다. 이는 건축될 당시의 조건에 의해 단기간에 대량 공급을 위해 단조로운 형상을 택하였기 때문으로 판단된다.

4.2.4 상세 및 기타 항목

상세 평가 항목에서는 벽체의 철근배근상세를 통하여 내진 성능을 평가하였다. 내진설계 도입 이전의 공동주택 A~D동은 철근비가 현행 기준인 벽체 총 단면의 0.0025에 못 미치는 0.00198, 0.00142, 0.0021 그리고 0.0021로 평가 되었으며, 내진 성능 도입 이후의 구조물인 E~G동의 경우는 모두 허용치를 만족하는 0.0027, 0.0025, 0.003으로 평가되어 Table 5와 같이 평가 결과가 나타났다.

4.2.5 노후도

노후도 평가는 건물의 연수와 화재이력 또는 재료의 훼손 정도에 의해 평가되며 전문가의 의견에 따라 진행하게 되어 있으나, 본 연구에서는 실제 노후도 조사를 실시하지 않아 노후도의 점수 산정은 제외하였다.

4.3 내진 성능 예비 평가 결과

KBC-2005의 지진하중을 통한 기존 공동주택의 내진 성능 예비 평가 결과 Table 6과 같이 내진 성능 도입 이

Table 5 Evaluation for details

Detail and other	Before seismic design				Application of seismic design		
	A	B	C	D	E	F	G
Steel ratio	0.2	0.2	0.6	0.6	1	1	1
Retrofit for open area	1	1	1	1	1	1	1

Table 6 Results for primary evaluation

Evaluation result	Before seismic design				Application of seismic design		
	A	B	C	D	E	F	G
Point	0.62	0.62	0.65	0.654	0.75	0.80	0.79

전의 공동주택은 0.62~0.654점까지 평가 되었으며, 내진 설계 도입 이후의 공동주택들은 0.75~0.80점까지 평가되어 내진설계가 이루어진 구조물이 약 22.8% 정도 내진 성능이 우수한 것으로 나타났다. 하지만 내진 성능 상세 평가의 결과는 이보다도 뚜렷하게 내진 성능의 차이를 나타내고 있다. 또한 예비 평가의 결과는 모두 예비 평가의 판정에서 D-E등급을 나타내고 있어 문제점으로 제기되고 있다. 이를 개선하기 위하여 기존 연구에서는 각 항목별 가중치의 수정을 제안⁸⁾하고 있으나, 항목별 가중치를 변경을 위한 실험적 연구가 수행되지 않아 아직 실무에 적용시킬 수 없는 실정이다.

이와 같은 결론은 전단응력 평가와 층간 변위 평가에 있어서 내진설계가 이루어진 구조물과 내진설계가 이루어지지 않은 구조물에서 유사한 평가가 이루어지기 때문이다. 이는 평가에 있어서 전단응력 평가 지수 산정 시 계단형 평가를 수행하여 일정 구간 내에서는 동일한 점수를 부여하기 때문으로 판단된다. 또한 층간 변위 역시 유효 층간 변위를 사용하지 않고 단순 층간 변위를 사용함으로써 층간 변위를 과다 계산하기 때문으로 판단된다.

4.4 내진 성능 상세 평가

대상 공동주택의 내진 성능 상세 평가는 등가정적 비선형 해석 프로그램인 MIDAS-Gen의 비선형 지진 해석 기능인 push-over 해석을 사용하였다. 평가 결과 Fig. 9와 같이 각 모델 구조물의 내진 성능이 평가되었지만, F동의 경우, 급격한 내력 저하로 인하여 취성적인 경향이 나타나고 있는 것으로 나타났으며, E, G동의 경우 내진 성능이 우수한 것으로 평가되었다. 내진 성능 상세 평가 결과는 예비 평가의 결과와 비슷한 경향을 띠는 것으로 나타났지만, 예비 평가보다 내진 성능 도입 이전과 이후의 성능차가 크게 나타나는 것으로 평가되었다.

5. 내진 성능 예비 평가법에 대한 수정 제안

4장의 내용에는 강도 항목의 전단응력과 강성 항목의 층간 변위만이 점수 차를 나타내고 있을 뿐 나머지 강도 항목의 약층과 잉여력, 강성 항목의 연약층과 인접성, 형상 항목의 모든 소 항목 등이 내진설계를 적용하지 않은 공동주택과 내진설계가 적용된 이후의 구조물들과 값의 차를 보이지 않고 있다. 따라서 벽식 공동주택의 내진 성능 예비 평가 시에는 위에 열거한 소 항목들에 대한 평가가 오히려 예비 평가의 오류를 야기시킬 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 벽식 공동주택의 내진 성능 평가

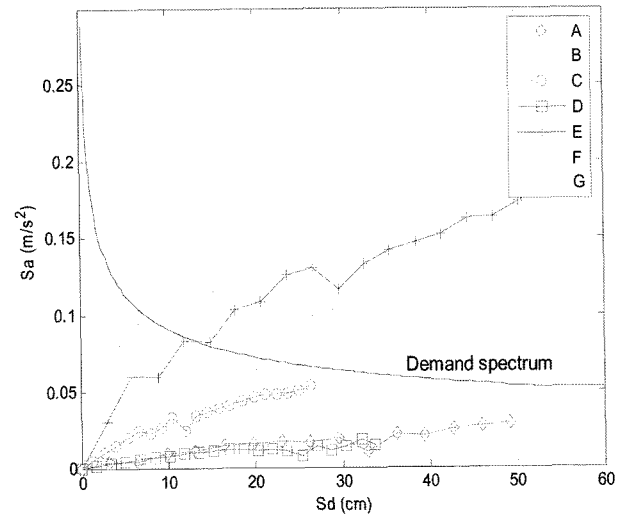


Fig. 9 Evaluation of seismic exact performance for model structures

시에는 위에 열거한 항목들에 대한 평가는 재정립되어야 할 필요성이 있을 것으로 판단된다. 또한 강도항목의 전단응력과 강성 항목의 층간 변위에서도 내진설계가 수행되지 않은 구조물과 내진설계가 수행된 구조물의 성능 차이가 그리 크지 않게 발생하고 있는 것을 알 수 있다.

이는 전단응력의 평가의 경우 평가 점수 부여 시 평가 결과의 일정 구간에 대해 동일한 점수를 획득하게 하는 계단식 성능을 부여하고 있기 때문으로, 평가 수준을 평준화시키고 있는 것 때문으로 사료된다.

또한 층간 변위의 경우, 상층부에서 하층부의 변위를 뺀 단순 층간 변위를 산정하여 고려하기 때문으로 구조물이 횡력을 받아 이에 저항할 경우 구조물이 회전하게 되며, 회전에 따라 상층부의 변위가 과다하게 고려되어 산정되므로, 이에 대한 요소를 고려한 유효 층간 변위를 층간 변위로 산정하여 내진 성능 평가를 수행해야 할 것으로 판단된다. 이에 대한 모델 구조물의 적용성을 살펴 보면 다음과 같다.

5.1 전단응력

전단응력의 분포는 Figs. 10, 11과 같이 내진설계 이전과 이후의 응력의 분포가 매우 극명하게 나타난다. 하지만, 기존의 성능지수산정법은 Fig. 12와 같이 허용전단응력과 평균 전단응력을 비교하여 구간별로 일률적으로 평가표에서 정한 성능지수로 평가하도록 되어있어 내진설계 도입 이전과 이후의 공동주택의 전단응력을 충분히 반영할 수 없는 것으로 판단된다. 따라서 허용전단응력을 0.5 MPa로 조정 한 후 Fig. 13과 같이 선형화된 성능지수 산정법으로 평가한 결과 Table 7과 같이 내진설계 도입 이전의 공동주택들의 전단응력지수들이 0.2점으로 변동이 없었지만, 내진설계 도입 이후의 공동주택들은 상향 조정되어 기존의 평가법보다 다소 내진 성능 이전과 이후의 전단응력 산정에 있어서 구조물의 성능을 충분히 반영하는 것으로 판단되어진다.

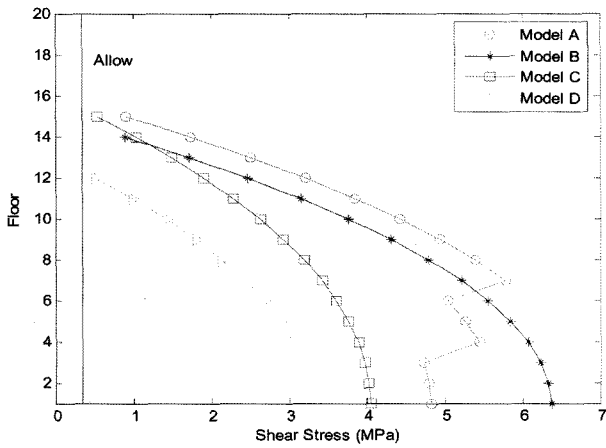


Fig. 10 Shear stress of non-seismic design

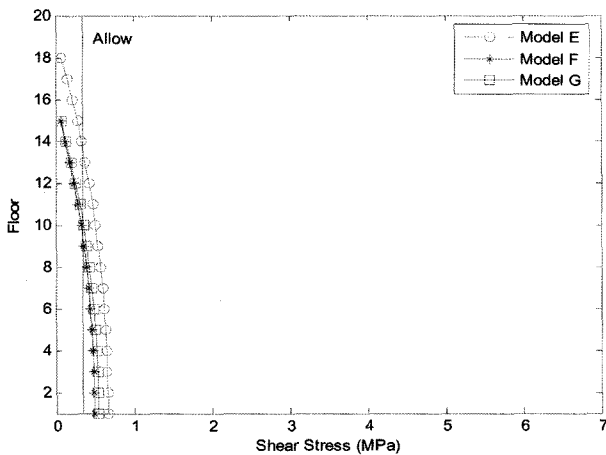


Fig. 11 Shear stress of seismic design

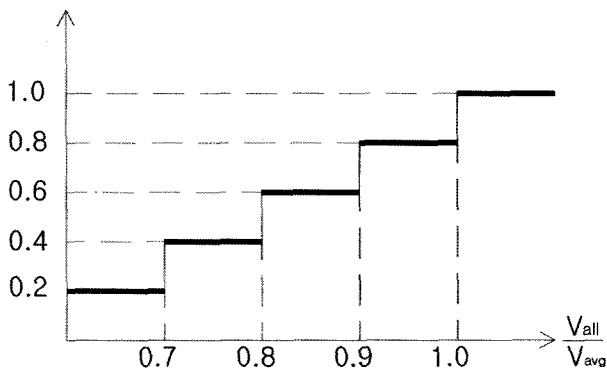


Fig. 12 Existing method

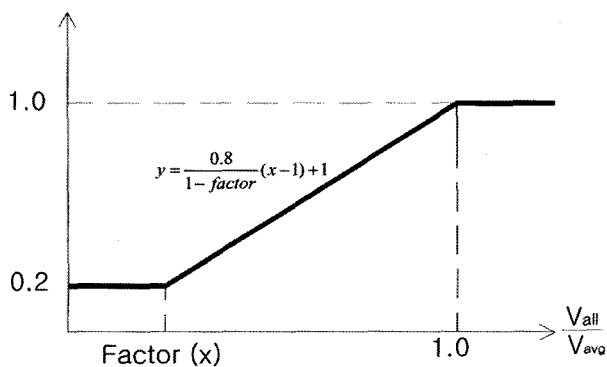


Fig. 13 Linear method

Table 7 Shear stress index by linear method

Model structures	A	B	C	D	E	F	G
Existed method for shear stress	0.2	0.2	0.2	0.2	0.32	0.6	0.44
Supposed method for shear stress (factor 0.5)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.7	0.6

5.2 층간 변위

철근콘크리트 구조물의 층간 변위 산정에 있어 기존의 층간 변위 계산은 각 층에 작용하는 층 지진하중을 산정하고, 이를 캔틸레버 구조로 가정하여 식 (1)과 같이 상부층의 변위에서 하부층의 변위를 뺀 것을 층간 변위로 산정하고 있다.

$$D = D_{i+1} - D_i \quad (1)$$

$$D_e = D - h\theta_i \quad (2)$$

여기서, D : 층간 변위, D_e : 유효 층간 변위

식 (1)과 같은 방법으로 평가하면 Fig. 15와 같이 각층의 층간 변위 분포가 나타난다. 이와 같은 방법을 적용해 보면 내진설계가 이루어진 구조물에서는 층간 변위가 허용치 이내에서 제어되고 있으며, 내진설계가 이루어지

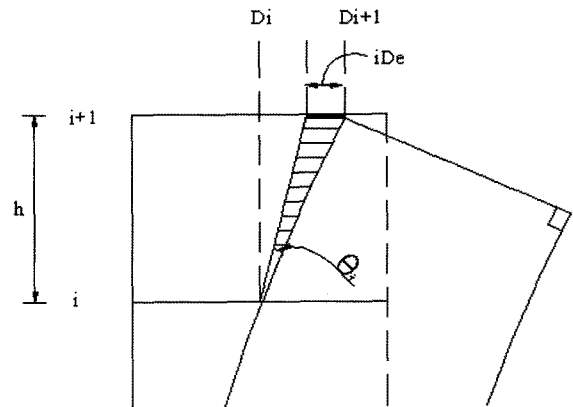


Fig. 14 Concept of effective drift

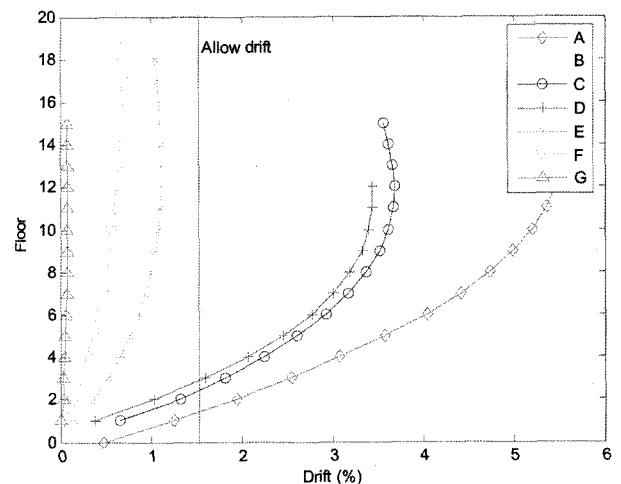


Fig. 15 Drift ratio of rough calculation (%)

지 않아 전단벽이 부족한 건물에서는 2~3층 이상에서 기준 허용치를 초과하는 것으로 평가되어, 일단 내진 성능 평가에 부합하는 것으로 판단되나, 상층부에서 층간 변위를 초과하는 현실과 동떨어진 결과를 내고 있다. 이는 평가의 오류를 나타낼 가능성이 매우 큰 요소이다. 따라서, 구조물의 지진에 의한 파괴가 저층부에 집중되는 것을 고려할 때 실제 지진에 대한 전단벽식 아파트 구조물의 내진 성능을 평가 시에는 식 (2)와 같이 해당 층의 층간 변위에서 이미 변위가 발생한 $h\theta_i$ 만큼을 빼 준 변위를 고려할 수 있는 유효 층간 변위로 평가하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 유효 층간 변위에 의한 결과 Fig. 16과 Table 8에서와 같이 내진설계 도입 이전의 공동주택의 하부층에서만 허용 층간 변위비를 만족하지 못한 것으로 나타났고 내진설계 도입 이후의 공동주택들은 허용치인 1.5%를 모두 만족하는 것으로 나타나 성능지수 1점으로 평가되어 기존의 평가법보다 구조물의 실제 성능을 판단하는데 적절할 것으로 판단된다.

5.3 형상

형상 항목의 경우 하중 경로, 평면 변화, 질량 변화, 비틀림에 대한 평가를 수행하게 되어 있으며 Table 4와 같이 항목 가중치가 0.3으로서 전체 평가 대상의 30%에 해당하고 있다. 하지만 공동주택, 특히 철근콘크리트 벽식 구조 공동주택의 경우, 하중의 부담을 받는 모든 세대가 동일한 평면으로 구성되어 있어, 하중 경로나 평면 변화, 질량 변화가 이루어지지 않고 있어 각 층별로 형상 변화의 정도를 통해 점수화시키는 형상 항목에서는 모두 만점을 받도록 되어 있어, 철근콘크리트 공동주택에서는

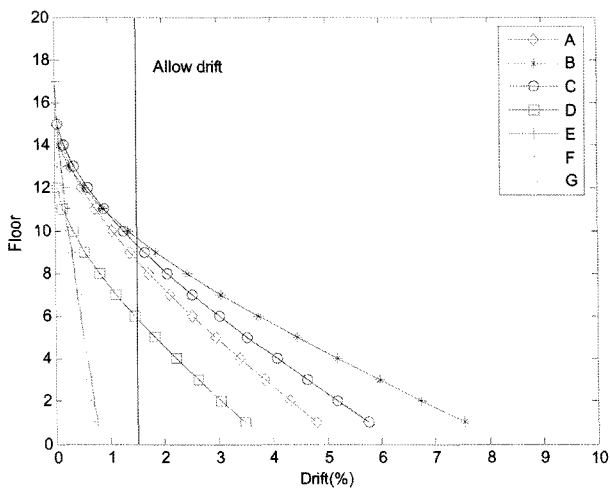


Fig. 16 Effective drift ratio (%)

Table 8 Application for supposed effective drift

	A	B	C	D	E	F	G
Existed drift index	0.2	0.2	0.2	0.2	0.28	0.3	0.3
Effective drift index	0.38	0.31	0.78	0.46	1	1	1

이 항목에 대한 평가 가중치를 낮추어야 할 필요성이 있을 것으로 사료된다.

5.4 고찰

현재 실무에서 사용되고 있는 기존의 평가 방법을 적용할 경우 내진설계의 유무에 따라 내진 성능 평가 지수가 큰 차이를 보이지 않고 있다. 이는 전술한 바와 같이 평가 항목의 대다수가 내진설계 고려 정도가 평가 항목에 포함되어 있지 않기 때문이다. 또한 내진설계 고려 정도가 포함되어 있는 평가 항목 역시 실제 구조물의 거동과는 다른 평가 지수를 산출해내고 있다. 강도 항목의 전단응력 소 항목의 경우 5.1장과 같이 구간별 계단형 평가지수를 산정하여 실제 구조물과 왜곡되는 평가 지수를 산정하고 있으며, 강성 항목의 층간 변위 소 항목의 경우, 상층 변위와 하층 변위의 차를 기준으로 하는 단순 층간 변위를 고려하여, 실제 구조물이 변형되면서 발생하는 구조물의 회전을 무시하기 때문에 층간 변위가 과다 계산되어 평가 지수를 산정한다. 이로 인하여 내진설계가 고려되어 있는 구조물도 평가 지수가 낮게 평가되어, 최종 평가 지수만으로 평가하는 예비 평가의 결과가 왜곡될 우려가 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 이를 검증하기 위하여 내진설계가 수행되지 않은 구조물과 내진설계가 수행된 구조물의 예비 평가 결과를 비교하고, 문제점으로 제시된 평가지수를 수정하여 예비 평가를 수행하여 보았다. Table 9는 기존의 내진 성능 예비 평가법에 의한 평가 지수와 본 연구에서 제안된 방법으로 수행된 내진 성능 예비 평가 지수를 나타낸 것으로, 수정된 평가 방법으로 수행된 평가 지수가 내진 성능 상세 평가와 유사한 결론을 나타내고 있다.

또한 지속적인 연구를 통하여 벽식 구조물의 내진 성능 예비 평가 항목을 재정립해야 할 필요성이 있을 것으로 판단되며, 특히 벽식구조는 우리나라만의 독특한 구조 형식이며, 국민 대다수가 주거하는 주택 형식이므로 이에 대한 후속 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

6. 결 론

본 연구에서는 내진 성능 도입 이전과 이후의 모델 구조물들에 대하여 한국시설안전기술공단에서 제시한 ‘기존 건축물의 내진 성능 평가 요령’에 의한 내진 성능 예비 평

Table 9 Result for supposed primary evaluation

Evaluation result	Before seismic design				Application of seismic design		
	A	B	C	D	E	F	G
Existing evaluation	0.62	0.62	0.65	0.65	0.75	0.80	0.79
Supposed evaluation	0.64	0.63	0.73	0.68	0.85	0.91	0.91

가를 수행하였으며, 상세 평가는 push-over 해석에 의한 능력스펙트럼법으로 평가하였다. 본 논문에서는 평가 결과가 나타낼 수 있는 오류를 제시하고 그 대안으로 전단응력 평가 지수와 층간 변위 산정법을 수정 제안하였다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 내진설계 도입 이전과 이후의 모델 구조물에 대하여 한국시설안전기술공단에서 제시하고 있는 ‘기존 건축물의 내진 성능 평가 요령’의 내진 성능 판정표에 따라 판정해본 결과 내진설계 도입 이전과 이후의 공동주택 모두 전체적인 내진 성능 보강을 필요로 하는 D등급 또는 E등급으로 평가되어 평가의 차별성이 부족한 것으로 나타났다.
- 2) 철근콘크리트 벽식 공동주택의 경우, 평면의 변화가 없는 정형적인 구조로 되어있어 강도 항목의 약층, 강성 항목의 연약층과 인접성, 형상 항목의 하중경로, 평면 변화, 질량 변화, 비틀림 그리고 상세 및 기타 항목의 개구부 보강과 같은 세부 항목들은 모두 허용치를 만족하는 결과를 보여주어 전체의 41%가 내진설계 도입 이전과 이후의 공동주택 모두 동일하게 나타나 내진 성능 보유 여부를 판가름할 수 있는 차별성이 부족한 것으로 판단된다.
- 3) 내진 성능 평가에서 전단응력은 큰 비중을 차지하지만 기존의 전단응력 평가 지수는 응력의 변화에 따라 성능지수가 불연속적으로 변하며, 응력 제한 기준이 과도한 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 기준치를 조절할 수 있고, 전단응력의 변화에 따라 선형적으로 변하는 평가 지수 산정 방법을 제안하였다.
- 4) 캔틸레버 거동을 하는 전단벽식 구조물의 경우 예비 및 컴퓨터 해석 모두 층간 변위는 유효 기준보다

크게 초과되는 것으로 나타났으며, 이는 기존 예비 평가법에서 평가 지수를 크게 낮추는 역할을 하였다. 그러나 전단벽식 구조물의 파괴가 저층부에 집중되는 것을 고려할 때 실제 지진에 대한 전단벽식 아파트 구조물의 내진 성능을 평가하는 경우 유효 층간 변위로 평가하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 2005년도 단국대학교 대학연구비 지원 사업(교내)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 기상청 홈페이지 자료실, www.kmancis.go.kr.
2. 한국시설안전기술공단, “건축 구조물의 내진 성능 평가 요령”, 한국시설안전기술공단, 2004, pp.23-57.
3. 권영웅, 홍성길, 박홍근, 송진규, 김민수, “철근콘크리트 전단벽식 고층건물의 내진 성능 평가에 관한 연구”, 한국 구조물진단학회, 추계학술발표논문집, 2002, pp.129~134.
4. 정 란, 우운택, 박태원, 나승욱, “전단벽식 구조시스템의 내진 성능 평가 지표 산정”, 한국지진공학회 추계학술발표회 논문집, 6권 1호, 2002, pp.223-230.
5. 대한건축학회, 건축구조설계기준, KBC-2005, pp.(3)18-23.
6. ATC, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, ATC-40 Report, Applied Technology Council, Redwood City, California, 1996.
7. FEMA, *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, FEMA273, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., October, 1997.
8. 박태원, 벽식 구조 공동주택의 내진 성능 보강 효과, 단국대학교 건축공학과 대학원 박사학위 논문, 2005, pp.21~59.

요 약 건축 구조물의 내진설계규정은 1988년에 만들어졌으며, 설계된 지 20년이 지난 많은 구조물들이 내진 성능을 갖추지 못하고 있는 실정이다. 특히, 벽식 구조 공동주택들의 경우 내진설계가 수행되지 않았으며, 장변 방향으로는 지진하중을 저항하는 벽들이 배치되지 않아 지진의 위협에 노출되어 있다. 최근에는 기존 구조물에 대해서 내진 성능을 평가하고 부족한 구조물에 대한 보강 방안을 개발하는 연구가 이루어지고 있다. 그러나 이것은 기존 구조물에 대하여 구조 해석과 설계 과정이 선행되어야 하므로 많은 시간과 노력이 소비되고 있다. 따라서 보다 간단한 방법으로 내진 성능을 평가하는 방법이 필요하다. 이 연구에서는 KBC-code에 의해 내진설계가 수행된 3개의 모델 구조물과 내진설계가 수행되지 않은 4개의 모델 구조물에 대하여 한국시설안전기술공단에서 제시한 기존 구조물의 내진 성능 평가방안에 의한 내진 성능평가를 수행하였다. 평가 결과를 MIDAS프로그램을 이용한 CSM법에 의한 내진 성능 평가결과와 비교하여 개략적인 평가 결과의 적정성을 비교·분석하였다. 평가 결과 기존에 사용되어진 평가 방법은 전단응력 평가와 층간 변위 평가에서 저평가되는 경향이 있었으며, 이는 판정을 왜곡시키는 결과를 가져오게 되었다. 이에 본 연구에서는 기존 평가 방법의 수정안을 제시하여 그 적용성을 분석하였다.

핵심용어 : 내진설계규정, 내진 성능, 벽식 구조 공동주택, 전단응력, 층간 변위 지수