

국내 공동주택의 지진위험도

현재의 지진위험도

ARTICLE
05

The present state of earthquake hazard for the apartment structures in Korea

김현진 박태원* 정란 교수
단국대학교 건축공학과

Abstract

Earthquake is one of the hazard so hard because it is difficult predicted occurred time, scale and characters. Due to a recent Sichuan earthquake in China with a magnitude of 7.8, it is worried about having a major earthquake in Korea peninsula in near future. The earthquake in Kobe, Japan showed that the damages were concentrated on the buildings which were not considered to be protected from the earthquakes.

In this study, apartment structures in Korea analyze about earthquake hazard and evaluate seismic performance. Through the this study we have notice of earthquake hazard for apartment structures which live a lot of population of Korea and suppose necessary for seismic retrofit.

Keywords : Apartment structures, Earthquake hazard, Seismic code, Seismic performance, seismic retrofit

1. 서론

지구의 역사는 약 45억년이상으로 추정하고 있으나 지금도 지질학적 생산을 반복하고 있어 축적된 에너지가 표출되는 지진이 발생되고 있으며, 자연재해 중에서도 가장 큰 인명피해와 재산피해를 가져와 재난방지에 관한 연구자들에게 가장 큰 숙제를 안겨주고 있다. 이는

정확한 발생 시기 및 규모, 지진특성 등을 예측하기 힘들어 대비하기 가장 어려운 재난으로 손꼽히고 있다. 최근 지진피해를 입은 주변국의 상황을 살펴보면 평시에 지진에 대한 대비를 하지 못한 국가에서는 그 피해규모가 매우 큰 것으로 나타났으며, 특히 인명피해가 매우 큰 것으로 나타났다. 지진에 대한 재난방지대책의 중요성은 효고현 남부(고오베)지진 피해 현황에서 매우 잘 표현되

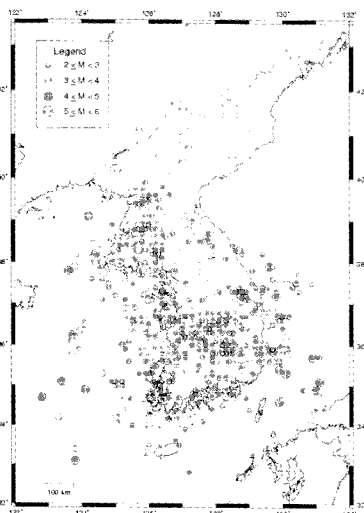
* tw001@dankook.ac.kr

고 있다. 재난방지대책인 내진 설계규정이 제정되기 이전인 1971년 이전에 건축된 철근콘크리트구조 건축물의 경우 약 70%정도의 건축물이 전파되었고, 내진 규정이 적용된 1971년과 1981년 사이에 건축된 건물의 경우 약 35%가 반파, 1981년 신 내진 설계규정이 적용된 건축물의 경우 약 15%정도¹⁾만이 경미한 피해를 입어, 기술발달이 자연재해를 어느 정도 극복할 수 있다는 것을 극명하게 보여주었다.

최근 우리나라에서도 [Fig. 1]에서 보는 바와 같이 기상청²⁾에서 지진관측을 시작한 이래, 많은 지진활동이 일어났으며, 다수의 지진활동이 해양이 아닌 육지내부에서도 다수의 지진활동이 관측되었다. 또한 규모 3이상의 지진이 다수 발생하여 이에 대한 대책이 필요한 것으로 판단된다. 이에 건설교통부에서는 “건축구조물의 내진 구조 및 방재에 관한 연구(대한 건축학회, 1988)”를 기초로, 내진설계를 위한 시행령을 제정하여 1988년 7월 1일부터는 일정규모 이상의 건축물에 대하여 내진설계를 의무화하였다. 그러나, 건축물에 내진설계가 처음 도입

된 88년 이후 90년대 초반까지는 내진설계에 대한 개념이 부족하고, 설계경험이 거의 없어 구조설계 실무자들이 내진설계를 적용하는데 적지 않은 어려움을 겪었을 뿐만 아니라, 실제로 부실한 내진설계 건물이 양산되었으며, 또한 1990년대 후반 지진에 취약한 필로티형식의 공동주택이 많이 건설³⁾되어 대도시 인근에 지진이 발생하는 만약의 사태가 발생하는 경우, 터키 남부 지진에서 보는 바와 같은 엄청난 재앙이 우려된다.

우리나라 대부분의 국민들은 이러한 지진의 심각성을 인식하지 못하고 있는 것이 현실이며, 실제 내진설계가 적용되지 못한 1988년 이전에 설계된 고층 공동주택에 살고 있는 대다수의 국민들이 나의 집은 안전할 것이라는 오류 속에 살아가고 있다. 이는 국민에게 지진의 위험성에 대한 정확한 정보를 제공하지 못하는 정부에도 일정부 책임이 있다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 지진위험에 노출되어 있는 국내 공동주택의 현황을 분석하고, 실존하는 공동주택의 내진성능을 평가하여, 많은 수의 국민이 생활하고 있는 국내 공동주택의 지진위험성을 확인하고, 각 공동주택의 내진성능 보강의 필요성을 제기하고자 본 연구를 수행하였다.



[Fig. 1] Map of epicenter for Past 20years

2. 공동주택의 현황 및 지진위험성

2.1 일반현황

건설교통부 자료⁵⁾에 따르면 2003년 말 현재 우리나라에는 약 94,000여동[Table 1 참조]의 공동주택이 산재해 있으며, 서울특별시에는 약 14,900여동, 경기도에 23,900여동의 공동주택이 존재하고 있어, 인천광역시까지 포함한다면 전체 공동주택의 약 50% 정도가 수도

권에 집중되어 있어 진양지에서 수십km내에 지진피해가 집중되는 것을 감안할 때 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.

[Table 1] Number of apartment structures

	Type of house			Total
	Apartment	Condo	Detached	
Seoul	12,305	2,022	594	14,921
Gyeonggi-do	19,282	3,247	1,339	23,868
Whole country	73,187	11,835	923	94,122



[Fig. 2] Distribution diagram of apartment in Seoul

공동주택이 집중되어 위치해 있는 서울특별시의 공동주택 분포를 살펴보면 [Fig 2]와 같다. 대부분이 공동주택이 어느 일부분에 치우쳐 있지 않고 전 지역에 걸쳐 분포되어 있으므로 공동주택의 내진성능에 대한 현황조사가 필요한 것으로 나타났으며, 국내 공동주택의 내진성능을 광역적으로 평가하기 위하여 공동주택이 조성된 시기, 지진하중을 결정하는 요소중 하나인 건축물의 높이 및 경과년수에 대하여 분류해 보고, 얼마나 많은 건축물들이 지진에 대한 위험성이 있는지에 대하여 분석해보았다.

2.2 택지조성시기별 분류

공동주택의 대부분은 대형 택지에 공급되고 있어 택지

조성시기를 내진설계의 적용시점과 교차분석해보면 지진재난의 위험도를 분석해 볼 수 있다. 우리나라의 경우 1970년대 말부터 대규모 택지가 공급되기 시작하였으며 주로 한강변 주위로 택지를 조성하기 시작하였다. 마포 및 여의 지구가 이 무렵 조성되기 시작하였으며 압구정, 반포, 목동, 개포, 대치, 상계, 중계지구등의 대규모 택지가 1980년대 초반부터 공급되기 시작하였다. 2004년 발간된 건설교통부 연감에 의하면 이러한 택지는 [Table 2]와 같은 면적으로 공급되기 시작하였다. 서울특별시의 경우 약 5,000만㎡의 택지가 공급되었으며 이중 약 88% 정도가 1991년 이전에 조성된 단지이며 1992년~1997년에 조성된 택지가 약 8.1%, 1998년 이후 조성된 택지가 약 3.5% 정도로 나타났다. 경기도의 경우 1991년 이전에 조성된 택지가 약 30%, 1992년~1997년에 조성된 택지가 38.0%, 1998년 이후에 조성된 택지가 31.6% 정도로 나타났다.

이를 살펴보면 서울시의 경우 대규모택지의 공급이 주로 1991년 이전에 공급되어, 이들의 대부분은 내진설계가 적용되기 이전에 택지가 공급된 물량이며, 이는 곧 대규모 택지에 조성된 공동주택의 내진성능의 유무를 매우 시급히 파악해야 할 것을 나타내는 기초자료로 판단된다. 경기도의 경우 전국규모의 택지조성사업과 비슷한 규모를 나타내고 있으며 이들 중의 약 30% 정도는 내

[Table 2] The times of making for house lot (unit:km²)

region	Before 1991	1992-1997	1998-2003	Total
Seoul	44,318 (88.4%)	4,053 (8.1%)	1,786 (3.5%)	50,157
Gyeonggi	60,554 (30.4%)	75,572 (38.0%)	62,994 (31.6%)	199,120
Whole of country	227,083 (39.7%)	193,404 (33.9%)	150,518 (26.4%)	571,005

진성능 유무를 시급히 파악해야 할 것으로 판단된다.

2.3 공동주택의 높이에 따른 분류

지진하중은 동적효과에 의해 결정되는 하중으로 구조물의 주기가 하중⁶⁾을 산정하는데 큰 요소로 사용되며 철근콘크리트 전단벽식 구조물의 고유주기는 철근콘크리트 전단벽 형식의 고유주기는 [Eq. 1]에 의하여 산정한다.

$$T_s = 0.0743 (h_n)^{3/4} \sqrt{A_c}$$

$$A_c = \sum A_e [0.2 + (D_e / h_n)^2]$$

$$D_e / h_n \leq 0.9$$

여기서,

A_e : 1층에서 지진하중과 평행한 전단벽의 전단 단면적(m^2)

D_e : 1층에서 지진하중과 평행한 전단벽의 길이(m)

일반적으로 구조설계의 과정은 작용하중을 산정하고 이를 외력으로 고 산정에 있어 공동주택의 동적특성에 큰 영향을 미치는 높이에 따른 분류를 보면 [Table 3]과 같다. 서울특별시의 경우 5층 이하(건물높이 약 14m이하)의 공동주택은 4,767동으로 전체 공동주택의 약 31.9%에 해당하고 있으며 6층 이상 10층 이하의 공동주택(건물높이 약 27m 이하)은 약 4.6%, 11~15층 공동주택(건물높이 약 40m이하)은 약 36.5%, 16층~20층 공동주택(건물높이 약 55m이하)은 13.7%, 21층 이상의 공동주택(건물높이 55m이상)은 13.3%정도로 나타났으며, 경기도의 경우 5층 이하(건물높이 약 14m이하)의 공동주택은 7,839동으로 전체 공동주택의 약 32.8%에 해당

하고 있으며 6층 이상 10층 이하의 공동주택(건물높이 약 27m 이하)은 약 7.6%, 11~15층 공동주택(건물높이 약 40m이하)은 약 23.5%, 16층~20층 공동주택(건물높이 약 55m이하)은 24.5%, 21층 이상의 공동주택(건물높이 55m이상)은 11.6%정도로 나타났다.

[Table 3] Statement of height for apartment structures

content	Height					total
	under 15m	15~27m	27~40m	40~55m	over 55m	
Seoul	4,767 (31.9%)	689 (4.6%)	5,436 (36.5%)	2,049 (13.7%)	1,980 (13.3%)	14,921
Gyeonggi	7,839 (32.8%)	1,826 (7.6%)	5,588 (23.5%)	5,835 (24.5%)	2,780 (11.6%)	23,868
Whole of country	37,950 (40.3%)	6,821 (7.3%)	27,044 (28.7%)	14,470 (15.4%)	7,837 (8.3%)	94,122

전국적인 분포를 살펴보면 5층 이하(건물높이 약 15m 이하)의 공동주택은 37,950동으로 전체 공동주택의 약 40.3%에 해당하고 있으며 6층 이상 10층 이하의 공동주택(건물높이 약 27m 이하)은 약 7.3%, 11~15층 공동주택(건물높이 약 40m이하)은 약 28.7%, 16층~20층 공동주택(건물높이 약 55m이하)은 15.4%, 21층 이상의 공동주택(건물높이 55m이상)은 8.3%정도로 나타나 수도권 소재의 공동주택이 전국평균에 비해 고층화된 성격이 짙은 것으로 나타났다.

2.4 노후도에 따른 분류

국내에 내진설계가 도입된 이후의 상황에 따라 공동주택에 내진성능의 여부를 살펴볼 수 있는 노후도에 따른 분류를 보면 [Table 4]와 같다. 우리나라에는 1986년 충청남도 홍성에서 발생한 지진을 계기로 지진의 위험성을 인식하였으며 대한건축학회에서 수행한 “건축구조물

의 내진구조 및 방재에 관한 연구”⁷⁾를 기초로 건설부에서 내진설계를 위한 시행령을 제정하였다. 이에 따라 1988년 처음 내진설계개념이 적용되어 공동주택에 내진 성능을 부여해 왔으며, 2000년 새로운 내진설계 규정⁸⁾이 개정되어 적용되어 왔고, 2005년에 새로이 개정된 내진설계규정이 적용되고 있다. 이에 따라 2000년 내진설계기준과 1988년 내진설계기준을 적용받는 사례를 분류해 보면 서울특별시의 경우 내진설계제의 대상 공동주택은 6,293개동으로 전체 공동주택의 약 42.1%에 해당하고 있으며, 1988년 제정된 내진설계기준을 적용한 공동주택은 약 29.7%, 2000년 개정된 내진설계기준을 적용한 공동주택은 28.2%정도로 나타났으며, 경기도의 경우 내진설계제의 대상 공동주택은 4,200개동으로 전체 공동주택의 약 19.6%에 해당하고 있으며, 1988년 제정된 내진설계기준을 적용한 공동주택은 약 48.0%, 2000년 개정된 내진설계기준을 적용한 공동주택은 32.4%정도로 나타났다.

[Table 4] Application for Seismic code of the apartment in Korea

	Application for seismic code			Total
	AIK 2000	Basic-code	non-application	
Seoul	4,201 (28.2%)	4,427 (29.7%)	6,293 (42.1%)	14,921
Gyeonggi	7,733 (32.4%)	11,935 (48.0%)	4,200 (19.6%)	23,868
Whole of country	25,069 (26.7%)	43,436 (46.1%)	25,617 (27.2%)	94,122

* Except KBC-2005code which was developed new seismic code. Because used data is between 1960 and 2000.

또한 전국적인 분포를 살펴보면 내진설계제의 대상 공동주택은 25,617개동으로 전체 공동주택의 약 27.2%에 해당하고 있으며, 1988년 제정된 내진설계기준을 적용

한 공동주택은 약 46.1%, 2000년 개정된 내진설계기준을 적용한 공동주택은 26.7%정도로 나타났다. 이 통계를 분석해 보면 서울특별시의 공동주택이 내진설계가 적용되지 않은 비율이 전국평균보다 월등히 높은 것으로 나타났으며 서울특별시의 경우 내진성능 유무를 시급히 판단해야 할 것으로 나타났다. 또한 전국적으로도 27.2%의 공동주택이 내진성능의 유무를 시급히 판단해야 할 구조물로 나타났다.

2.5 내진성능이 부족한 공동주택

내진설계가 이루어 지지 않은 1988년 이전에 설계된 판상형 공동주택의 경우 지진 발생시 매우 큰 피해를 입을 것으로 판단된다. 이는 내진설계가 도입되기 이전에는 설계의 기본 개념이 중력방향의 하중만 고려하여 설계하기 때문에 횡력저항시스템 자체를 설계하지 않았다. 더구나 당시에는 우리나라의 산업의 목표가 경제성장에 있었기 때문에 모든 시스템이 공기를 단축하여 최단기간 내에 건축물을 생산하기 위해 총력을 쏟고 있을 당시엔 건설되어진 공동주택의 경우 공기 단축을 위하여 터널 폼이라는 특수 형태의 거푸집을 사용하였다. 이는 [Fig. 3]과 같이 대형 거푸집을 이용하여 단기간 내에 철근 배근 및 콘크리트 타설공정을 마치고 양생이 완료된 후 [Fig. 4]와 같이 크레인을 이용하여 거푸집을 탈형하고 상층부의 골조공사를 수행하는 형태로 공기를 단축하고 있다. 이러한 거푸집을 사용하기 위해서는 장변 방향의 벽체를 둘 수 없었고 설계기준에도 이를 고려하지 않았기 때문에 당시에 지어진 대부분의 판상형 공동주택의 경우 이를 이용하여 건설되었다. 하지만 1986년 홍성지방에 일어난 지진을 계기로 우리나라에도 내진설계 개념이 도입되었으며, 벽식 구조물의 횡력저항 시스

템으로 [Fig. 5]와 같이 장변방향에 벽체를 배치하여 지진력에 저항하도록 설계가 이루어져 90년대 초반에 설계된 구조물은 내진성능을 갖출 수 있었다.

하지만 이전까지 국내에 건설되어진, 특히 터널폼으로 시공되어진 공동주택의 경우 내진성능을 갖추지 못하고 있어 대책이 시급한 실정이다.

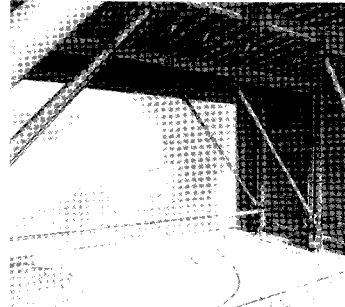
3. 내진성능 평가

이와 같이 내진설계가 적용되지 않은 구조물에 대하여 공동주택에 내진성능을 부여하는 것은 국가적으로 매우 시급한 정책 과제로서 우리나라에서도 1988년 건축물

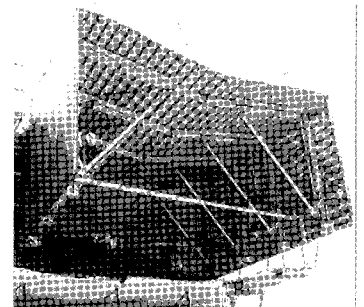
에 대한 내진설계 규정이 마련되었으며 지진발생 후의 구조물의 복원, 보수, 가동상태 등을 복합적으로 판단하여 경제적 손실을 최소화하기 위하여 성능에 기초한 설계(performance based design)방법^{9), 10)}을 시도하고 있다. 그러나 이 기준은 신축건축물을 대상으로 한 설계규정으로, 1988년 이전에 설계되어 내진설계가 되어있지 않은 많은 기존구조물에 대하여는 아직까지 지진에 대비한 방안이 마련¹¹⁾되어 있지 않으며, 설계당시의 규정에서 제외되어 있고, 경제적인 부담을 새로 지을 수 없어 방치되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 내진성능이 부족할 것으로 예상되는 터널폼으로 시공된 공동주택 1개동을 선정하여 내진성능을 평가해 보았다.

3.1 내진성능평가법

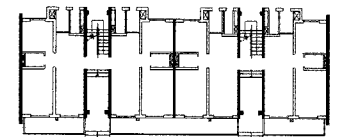
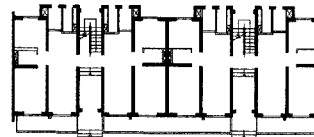
가. 내진성능 예비평가



[Fig. 3] Tunnel type form



[Fig. 4] Disjoint of tunnel form



— 내력벽 — 비내력벽

Non-seismic designed model

seismic designed model

[Fig. 5] Typical apartment model for seismic & nonseismic design

강도항목은 구조물에 지진하중이 작용하였을 경우 지진하중에 저항하는 능력에 대한 평가를 전단응력, 약층, 신뢰계수(일부부재가 항복하게 될 경우 하중분산이 이루어지는 정도)를 계량화하여 평가하는 항목이며 강성항목은 구조물에 지진하중이 작용하였을 경우 과도한 변형이나 변위로 인하여 구조물이 붕괴되지 않도록 하는 능력을 계량화 하여 평가하는 항목으로 층간변위와 연약층, 그리고 주변건물과의 인접성으로 평가된다. 형상평가는 구조시스템의 하중흐름이 적절하게 진행되고 있는지를 평가하는 지표로 하중경로, 평면 및 질량변화, 비틀림에 대한 평가를 수행한다. 또한 상세 및 기타항목으로서 개구부의 보강과 철근양에 대한 평가를 통하여 구조물의 취성파괴여부를 평가하게 되며 노후도 평가는 건물의 연수와 화재이력 또는 재료의 훼손정도에 대한 평가로서 구조적인 위험요인의 이력이 있는지에 대한

평가를 수행하며 이를 종합하여 평가결과를 산정한다.

평가결과의 산정은 다음 Eq. 2에 의하여 층별가중치를 결정하고 각 층별 평가점수에 가중치를 곱한 값을 항목점수별로 합산하여 산정한다. 산정된 평가점수가 0.95이상일 경우 A, 0.95미만일 경우 B, 0.9미만일 경우 C, 0.85미만일 경우 D, 0.8미만일 경우 E등급으로 구분하여 E등급일 경우 전체적인 내진성능 보강이나 철거가 필요한 상태로 분류하고 있다.

[식 2]
$$W_n = \frac{(N+1) - n}{\sum_{i=1}^{FN} i}$$

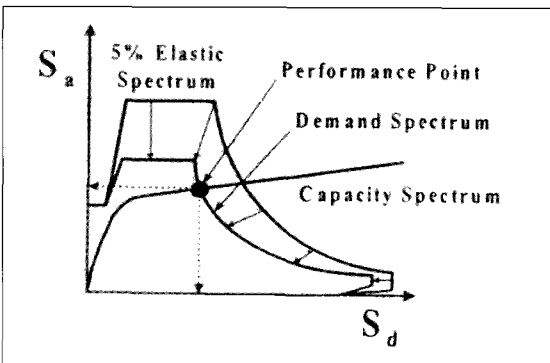
N = 평가 대상 건물의 전체 층 수

n = 평가 대상 층

W_n = 평가 대상층이 가지는 층별 가중치

나. 내진성능 상세평가

내진성능 상세평가법은 ATC-40에서 제시하고 있는 능력스펙트럼법(CSM)을 이용하여 산정한다. 건축물의 비탄성 변형능력과 내진성능을 평가할 수 있는 방법으로 구조물이 보유하고 있는 지진에 대한 저항능력은 예상될 수 있는 지진하중에 대한 구조물의 요구수준보다



[Fig. 6] Determine of Performance point

커야한다는 지진방정식(seismic equation)의 개념을 해석적으로 평가할 수 있는 매우 효과적인 방법이다.

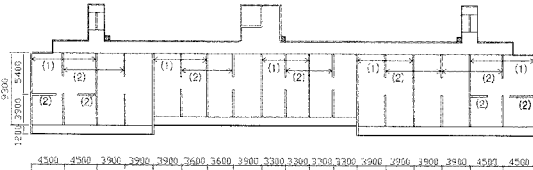
능력스펙트럼과 요구스펙트럼이 교차되는 성능점은 [Fig. 6]과 같이 구조물의 저항능력과 고려하는 지진하중의 요구수준이 일치하는 점으로 평가되며, 성능점은 특정 지반운동에 대한 구조물의 손상정도를 나타낼 수 있는 중요한 평가지수가 된다. 성능점을 이용하여 시스템의 변형정도를 파악하고 비탄성 지진응답에 의한 구조물의 파괴메커니즘을 효과적으로 예측할 수 있다. 그러므로 능력스펙트럼법(CSM)을 이용한 시스템 연성요구도의 산정은 구조물의 능력스펙트럼에서 결정되는 항복 변위와 성능점에서의 변위에 대한 비로써 평가할 수 있다.

3.2 내진성능평가 예제

연구에 수행된 공동주택은 현재 서울시 소재하는 현존 구조물로 내진설계 도입 이전에 설계되어진 구조물로 25년이 경과한 노후 공동주택이다. 이 구조물은 2장에서 제시한 내진설계가 필요한 구조물로서 택지조성형식에 의한 분류로는 1991년 이전(39.7%), 높이에 대한 분류로는 11~15층(28.7%), 내진설계적용 여부에 따른 분류로는 27.2%에 해당되는 구조물로서 각 분류법에 따라 가장 많은 분포를 가진 구조물이다. 더욱이 내진설계가 되지 않은 서울시의 구조물중 약 42%를 차지하고 있는 대표적인 형식이다.

본 연구에서는 내진성능 예비평가에서는 전단벽식 구조물로 분류하였으나, 우리나라의 내진설계 도입이전의 장변방향으로 전단벽이 거의 없어 전단벽식 구조물의 평가법으로 적용하기엔 다소 무리가 있을 것으로 판단된다.

가. 모델구조물의 개요



[Fig. 7] Plan of model structure

모델구조물은 [Fig 7]과 같은 구조평면을 가지고 있으며 (1)로 표시된 벽은 세대간벽이고 (2)로 표시된 벽은 세대내 벽이다. 각 구조벽체는 [Table 5]에 나타난 것처럼 층별로 벽두께 및 철근배근상세가 다르며 W1벽만이 더블배근이 되어 있고, W3, W4벽은 벽체배근이 1단으로 되어 횡력에는 매우 취약할 것으로 판단된다. 또한 사용된 철근은 원형철근 Ø6, Ø9이 사용된 구조물이다.

나. 내진성능 예비 평가

내진성능 예비평가는 전술 한 바와 같이 강도, 강성, 형상, 상세 및 기타 항목으로 구분하여 평가하며, 각 항목 당 3~4개의 소항목으로 분류하여 각각의 내진성능을 평가하고 있다. 전체적인 성능평가는 각 항목별 점수를 합산한 후, 각 항목별 가중치를 적용하여 총 점수를 산정하였으며, 평가 결과 [Table 6]과 같이 산정되었다.

평가결과 강도평가부분에서 전단응력평가가 0.2점으로 매우 낮은 점수를 나타내었으며 강성항목에서 층간변위에서 0.2점으로 나타났다. 그 외에 평가에서는 구조물이 정형적이고 공동주택으로 유지관리가 잘 이루어져 대체적으로 양호한 점수를 획득하였다. 그러

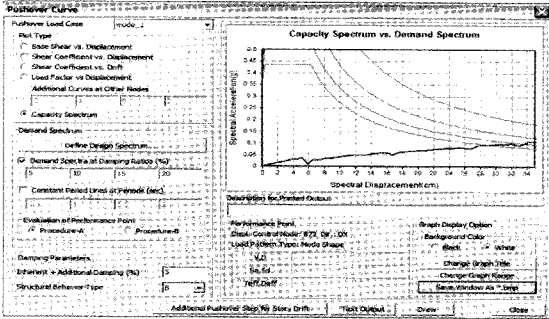
나 층가중치 및 항목별 가중치를 고려한 총평가점수가 0.8에 미치지 못하여 정밀내진성능평가가 필요한 것으로 판정되었다.

[Table 5] Detail of reinforcement

Floor	Wall mark (1) at Fig. 7	Wall mark (2) at Fig. 7	Thickness
10-15	W4	W4	W1 : 200mm
8-9	W4	W3	W3 : 170mm
5-7	W3	W3	W4 : 140mm
1-4	W3	W1	
Reinforcement			
Wall	W1	W3	W4
Vertical	Ø6@150	Ø6@140	Ø6@120
Horizontal	Ø6+Ø9@150	Ø6@100	Ø6@80

[Table 6] Result of primary evaluation for seismic performance

Content	Strength				Stiffness		
	Shear stress	Weak floor	Trust factor	drift	floor stiffness	adjacency	
point	0.2	1	0.9	0.2	1	1	
2step factor	0.6	0.3	0.1	0.6	0.3	0.1	
2step point	0.12	0.3	0.09	0.12	0.3	0.1	
2step total	0.510			0.520			
3step factor	0.3			0.2			
3step total	0.153			0.104			
Content	Shape				Detail and other		
	route of load	variation of plan	variation of mass	torsion	steel ratio	retrofit or open area	deterioration
point	1	1	1	1	0.6	1	0.4
2step factor	0.4	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	0.1
2step point	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.1
2step total	1			0.8			
3step factor	0.2			0.2			
3step total	0.2			0.16			
Evaluation	0.657						



[Fig. 8] Result of Evaluation of seismic exact performance for model structures

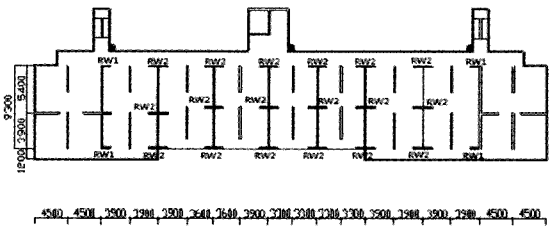
다. 내진성능 상세평가

내진성능 상세평가는 ATC-40과 FEMA 273에서 제시한 Push-over 해석의 결과를 이용한 능력스펙트럼법 CSM (Capacity Spectrum Method)을 이용하여 범용 구조해석 프로그램인 Midas-Gen과 Midas-SDS를 이용하여 구조물의 내진성능을 평가하였다. 평가 결과 [Fig. 8]과 같이 나타났으며, 능력곡선이 요구곡선에 못하여 성능점이 미생성되고 있는 것으로 나타났다. 이는 내진성능 예비평가에서 어느정도 예측할 수 있는 결과이며 내진성능보강이 시급한 것으로 나타났다.

3.3 내진성능 보강 방안

내진성능을 보강하는 방법으로는 강도를 증진시키는 방법, 연성을 증진시키는 방법과 지진하중을 감소시켜 지진발생시 요구내력을 감소시키는 방법이 있다. 이중 강도를 증진시키는 방법으로는 프레임증설, 기둥 및 전단벽 증설 방법이 있으며 비교적 보강비용이 저렴하고 공사가 쉬운 장점이 있으나 공사 중 사용이 불가능 하고 보강 후 모방된 침해 등의 단점이 있다. 또한 연성을 증진시키는 방법은 기둥의 연성보강 및 슬릿설치 등 구조물이 지진하중이 가해졌을 때, 연직부재의 변형능력을

증진시키는 방법으로 예측하지 못한 강한 지진이 왔을 때도 붕괴를 방지시킬 수 있는 장점이 있다. 이러한 보강 방법의 설계 개념이 일정규모 이상의 지진이 발생할 경우 구조물의 크고 작은 손상을 허용하고 있으며 성능에 기초한 설계방법에서도 인명안전이나 붕괴방지 성능수준에서 구조부재의 소성변형이 발생하게 다는 단점이 있다. 따라서 작용하는 지진하중을 줄이는 방법은 면진 장치나 에너지소산장치를 구조물의 적재적소에 배치하여 주어진 설계지진 수준에 대하여 요구되는 성능수준을 만족하도록 설계할 경우 변형 혹은 손상을 면진장치 혹은 에너지소산장치에 집중시킬 수 있어 주요 구조부재의 소성변형을 방지하고 보수에 필요한 시간과 비용을 절감할 수 있는 장점이 있다.



[Fig. 9] Retrofitted model using shear addition

가. 모델구조물에 내진성능 보강

본 연구에서는 현재 많이 쓰이고 있는 보강법인 강도 증진형 내진성능 보강을 수행한 후 내진성능 평가를 수행해 보았다. 보강은 구조해석 프로그램의 해석결과 각 층별로 약 2000kN의 횡하중을 보강할 수 있는 200×2000mm의 전단벽체를 세대간벽에 추가하는 방안을 적용하였으며, 세부사항은 [Table 7]에 나타내었다. RW1벽은 [Fig. 9]에 나타난 바와 같이 기존 벽체의 양쪽 단부에 보강한 것이며 RW2벽은 세대중앙부에 보강한 벽으로 수직근은 HD13철근을 200mm 간격으로 배

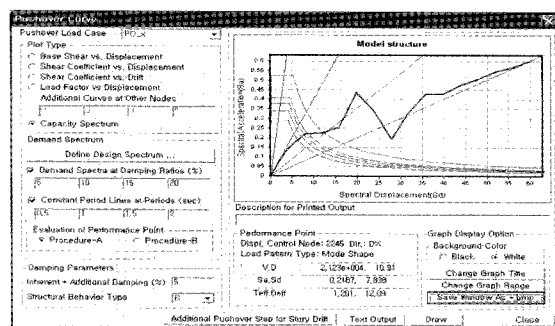
근하고, 수평근은 HD13철근을 150mm 간격으로 배근 하였다.

[Table 7] Detail of retrofit

Material	Steel: 400MPa	Concrete: 35MPa
	RW1	RW2
size(mm)	200×1000	200×2000
Vertical	HD13@200	HD13@200
Horizontal	HD13@150	HD13@150

나. 보강 후 내진성능 평가

가 항에서 제시한 재료와 보강재의 물성을 이용하여 내진성능 상세평가를 수행하였다. 평가에는 범용해석 프로그램인 Midas를 이용하였으며, 고유치 해석 후 비선형해석 방법인 Push-over해석을 수행후, CSM법을 적용하여 내진성능을 평가하여 보면 [Fig. 10]과 같이 횡강성 및 횡강도가 증가하여 구조물이 지진에 견디는 내진성능이 우수해 진 것으로 나타났다.



[Fig. 10] Result of Evaluation of seismic exact performance for retrofitted model structure

4. 결론

본 연구에서는 대다수의 국민들이 주거시설로 사용하

고 있는 공동주택에 대하여 지진위험도를 분석하기 위하여, 국내 공동주택 통계를 이용하여 택지조성별, 건물 높이별, 노후도별로 분석하고 광의의 지진위험도를 제시하였다.

또한 예제건물의 내진성능평가를 통하여 개별구조물의 지진위험도를 제시하여 내진설계가 적용되지 않은 공동주택에 대한 위험도를 분석해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 국내 공동주택 택지의 약 40%가 국내에 내진설계코드가 적용되기 이전에 공급된 택지를 사용하고 있어 지진발생시 집중적인 피해가 우려된다.
- 2) 수도권에 공동주택의 경우 KBC-2005에서 동적해석이 필요한 것으로 제시된 40m이상의 고층비율이 50%이상으로 나타나 지진발생시 취약지구로 나타났다. 전국적으로는 50% 미만으로 나타났다.
- 3) 준공된지 25년이 경과하였고, 설계당시 내진설계의 적용을 받지 못한 구조물에 대하여 내진성능 평가를 수행한 결과 예비평가와 상세평가에서 내진성능이 매우 부족한 것으로 나타났다.
- 4) 전단벽을 보강하는 비교적 간단한 보강법을 통하여 구조물에 내진성능을 추가시킬 수 있는 것으로 나타났다.

※ 감사의 글

이 논문은 2007년 교육인적자원부의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구(KFR-2007-357-D00263)이며, 한국안전학회지 2008.12.Vol.23, No6에 게재된바있음을 밝힙니다.

참고문헌

- 1) Y.S Chung, Y.S. Shin "Lesson from the Hyogoken nanbu earthquake, J. of Korea concrete institute Vol.7, No3, pp 4-11, 1995.
- 2) Website of Korea meteorological administration(www.kma.go.kr/neis)
- 3) T.W. Park, "Seismic retrofitting and performance evaluation of bearing wall structures", Doctoral thesis, Dankook University, 2005
- 4) M.S. Kim, S.C Park, Y.W Kwon, "A study on seismic performance shear wall apartment with piloti or not", Proceeding of the Architectural institute of Korea, pp.129-132, 2003.
- 5) Website of Ministry of land, Transport and maritime affairs, (www.mltm.go.kr)
- 6) AIK, Korean Building Code-Structural, KBCS, (KBC-2005), Architectural Institute of Korea, 2005
- 7) AIK "Research on seismic structures and prevention of disasters for Architectural structures", Architectural Institute of Korea, 1987
- 8) AIK, "Load calculation code and for architectural structures" Architectural Institute of Korea, 2000
- 9) ATC, "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings",ATC-40Report, Applied Tech -nology Council, Redwood City,California, 1996.
- 10) FEMA, "NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabi -litation of Buildings," FEMA273, Federal Emer -gency Management Agency, Washington, D.C. Octber, 1997
- 11) Y.G. Kim, "Seismic Safety Evaluation of Concrete Gravity Dams Considering Dynamic Fluid Pressure", J. of the Korean Institute of Industrial Safety, Vol. 21, No.1, pp. 120~132, 2006.
- 12) KISTEC, "Evaluation methods for seismic performance of Architectural structures", Korea, Korea infrasturcture safety and technology corporation, 2004
- 13) T.W. Park, S.S. Woo, K.Y. Choi, L. Chung "Seismic Performance Preliminary Evaluation Method of Reinforced Concrete Apartments with Bearing Wall system" J. of Korea Concrete Institute, Vol. 19, No.3, pp. 293~300, 2007.