

철근콘크리트 벽식 공동주택 내진성능 평가방법의 적용사례에 관한 연구

A Study on The Example of the Seismic Performance Evaluation Method of Reinforced Concrete Wall Apartment

최혁준*
Choi, Hyuk Jun

박태원**
Park, Tae Won

정란***
Chung, Lan

ABSTRACT

Earthquake resistance design has been developed many countries like Japan, USA, Mexico, New Zealand etc., which countries have experienced many earthquakes. Nowadays, earthquake resistance design has come into worldwide use. In Korea, the seismic design regulations have been established since 1988 in order to minimize the economic losses. Recently performance based design method has been adopted as a new Earthquake resistance design method. These regulations, however, are targeted for newly constructed buildings, In Korea, there are no regulations for existing buildings that built before 1988. So, we need to prepare the regulations that evaluate the seismic performance, furthermore proper retrofitting design guideline needs to be proposed when remodeling old buildings. This study was performed that many existing apartments is being a Remodeling object when considering the present condition of existing apartment and the problems of cost and environment in the future plan. When Remodeling construction is reviewed by former the Seismic Performance Evaluation Method, generating problems is evaluation by using Push-over. According to this, it provides the appropriate method of calculating the Seismic Performance Index.

1. 서론

우리나라에서는 1970년대부터 이루어진 급격한 산업화와 도시화의 사회적 변화에 대응하기 위하여 주거건축형식이 단독주택에서 공동주택으로 변화되었다. 이 당시에 대량으로 공급되어진 공동주택의 현재 현황을 살펴보면 설비기기의 노후도와 공간사용의 비효율성이 제기되어 최근 이에 대한 개선사업이 진행되고 있다. 이 사업은 통상 재건축과 리모델링으로 이루어지고 있으며 대부분의 경우 재건축을 매우 선호하고 있다. 하지만 구조적으로 사용연한이 많이 남아있는 철근콘크리트 구조체까지 해체하여 자원, 환경 경제적인 문제가 제기되고 있는 실정이다. 이에 정부에서는 재건축보다 리모델링을 장려하는 정책을 펴고 있다. 하지만 리모델링의 경우 기존구조체는 내진설계의무화 규정이 적용되기 이전에 설계된 구조체로서 현재의 기준을 적용한 내진설계기준이 적용되기 힘든 실정이다. 최근 발생한 일본 효고현 남부 지진피해 현황도 살펴보면 내진설계가 적용된 철근콘크리트 구조물이 그렇지 못한 구조물에 비하여 지진발생시 인명 및 재산피해의 정도가 매우 미미한 것으로 나타나 유사시 지진에 대하여 건축구조물이 내진성능을 갖추도록 하는 대비책을 반드시 준비해야 할 필요성이 제기되고 있다. 이에 우리나라에서도 기존건축물의 내진성능을 등급화하여 내진성능을 파악하고 이에 대한 보강방안을 제시하는 연구가 이루어지고 있다. 국내의 구조관련 실무자들에게 구조안전기술을 보급하는 시설안전기술공단에서는 한국지진공학회의 연구내용을 이용하여 국내 건축구조물의 내진성능 평가기법 및 그 해설을 출간하여 국내 건축물의 내진성능 평가 기준을 제시하였다. 본 연구에서는 노후 공동주택의 내진성능을 평가하고 이에 대한 검증을 통하여 내진평가 결과의 적절성을 파악하는 기초자료를 제시하기 위하여 수행하였다.

2. 연구내용 및 방법

국내에 내진설계개념이 도입된 1988년 이전에 설계되어진 공동주택 2개동과 내진설계기준이 적용된 이후에 설계된 공동주택 2개동에 대하여 1차 내진성능평가방법을 수행하고, 정밀내진성능평가를 수행한 후 두 결과를 비교하여 1차 내진성능평가의 결과가 정밀내진성능평가의 결과와 유사한 결론을 내고 있는지에 대하여 분석하였다. 1차 내진성능평가법은

* 정회원, 단국대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 단국대학교 건축공학과 박사수료

*** 정회원, 단국대학교 건축대학 건축공학과 교수

시설안전기술공단에서 제시한 “기존건축물의 내진성능 평가 요령(안)”³⁾을 적용하여 평가하였으며 정밀내진 성능평가법은 ATC-40에서 제시된 Push-over 해석의 결과를 이용한 능력스펙트럼법을 이용하여 평가를 수행하였다. 연구에 사용된 공동주택의 개요는 [표 1]과 같다.

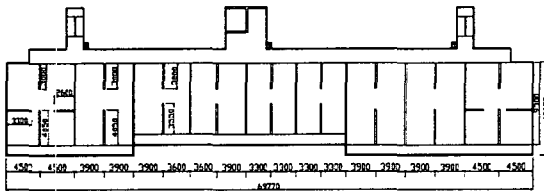
[표 1] 대상 공동주택 개요

구분	구조	위치	층수	높이 h _n (m)	기준층의 넓이 (m ²)	세대조합	기준층 전단벽 길이D _s (m)	작용하는 밀면전단력(tf)	
내진설계 이전	A동	철근콘크리트	서울시	15	39	739.56	28,25,21,18평	11.8	540.16
	B동		서울시	15	39	1137.15	32,29평	9.4	393.84
내진설계 이후	C동	전단벽식	경기도	18	46.8	489.90	32평	69.2	728.17
	D동		경기도	20	52	363.16	21평	47.68	446.14

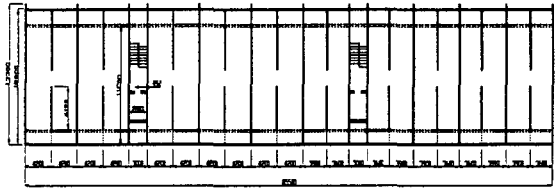
3. 연구대상 공동주택

3.1 내진설계 이전의 아파트 A동과 B동

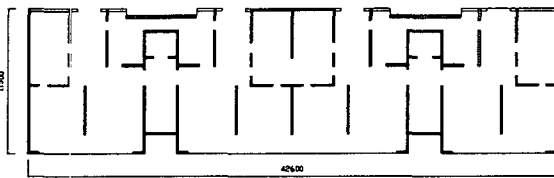
공동주택 A동과 B동은 1980년대 초반에 설계되어진 공동주택으로 현재 준공된 지 20년이 넘는 구조물이며 서울시에 위치하고 있다. [그림 1]과 [그림 2]는 각 동의 기준층 구조평면도를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 X방향에 저항할 수 있는 X방향의 벽량이 매우 부족하여 지진 발생 시 횡력저항에 매우 취약한 구조물이다.



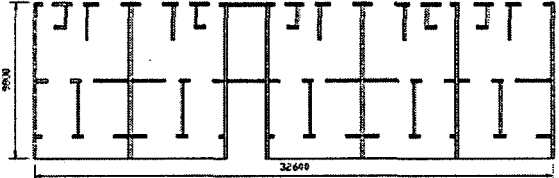
[그림 1] A동 구조평면도



[그림 2] B동 구조평면도



[그림 3] C동 구조평면도



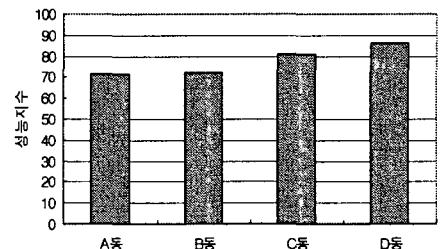
[그림 4] D동 구조평면도

3.2 내진설계 이후의 아파트 C동과 D동

공동주택 C동과 D동은 1990년대 초반에 설계되어진 공동주택으로 현재 준공된 지 10년이 넘는 구조물이며 경기도 신도시에 위치하고 있다. [그림 3]과 [그림 4]는 각 동의 기준층 구조평면도를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 X방향에 저항할 수 있는 X방향의 벽량이 적절히 배치되어 있어 지진 발생 시 횡력을 전단벽에 의해 저항할 수 있는 구조물이다. 대상 아파트 C동을 A동, B동과 비교하였을 때 X방향 전단벽의 단면적과 길이가 각각 약528%, 약652%로 증가하였고 D동은 A동, B동과 비교하여 보면 X방향 전단벽의 단면적이 약412%, 길이는 약 449%가 증가한 것을 알 수 있다.

[표 2] 1차내진성능평가 성능지수

	평가항목 가중치	강도	강성	형상	상세 및 기타	노후도
		대상	대상	대상	대상	대상
비 내진설계 공동주택 (1980년대 초반 설계)	A 동	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1
	B 동	50	72	100	100	20
내진설계 된 공동주택 (1990년대 초반 설계)	C 동	53.3	70	100	100	20
	D 동	61	83.5	100	100	60
		70.7	95	100	100	60



[그림 5] 1차 내진성능평가지수 비교그래프

4. 내진성능평가

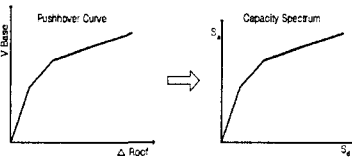
4.1 1차 내진성능평가

1차 내진성능평가는 한국 시설안전기술공단에서 제시하는 철근콘크리트 전단벽식 구조물의 내진성능평가 규정에 따라 기둥과 벽의 단면적만을 이용하여 약산적으로 건물의 강도, 강성, 형상, 상세 및 기타, 그리고 노후도등의 항목으로 평가하는 법이다. 각 항목별 평가는 구조도서를 이용하여 평가를 수행하였으며 상세 및 기타 항목과 노후도 항목은 가정하여 평가 하였다.

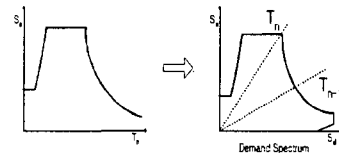
A동에서 D동까지 1차 평가를 수행해 본 결과 [표 2]와 같은 항목점수를 나타내었고 각 항목점수를 합산하여 가중치를 곱하여 성능평가지수를 산정해 본 결과 [그림 5]와 같이 나타났다. 강도 및 강성항목에서는 평가점수가 내진설계 된 구조물과 내진설계가 되지 않은 구조물이 작은 값의 차이를 나타내고 있으며, 형상항목에서는 내진성능의 여부와 관계없이 모두 만점을 받도록 산정되어 있어 문제점이 있는 것으로 나타났다. 1차 평가지수를 살펴보면 A동 아파트의 경우 71.4점, B동의 경우 72점, C동의 경우 81점, 그리고 D동의 경우 86.2점으로 산정되었다.

4.2 정밀내진성능평가

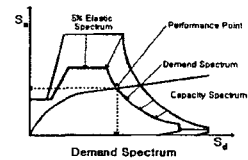
정밀내진성능평가는 지진에 대한 요구성능과 구조물의 보유능력을 응답가속도(S_a) 및 응답변위(S_d)로 각각 표현하여 한 그래프에 나타내는 방법이다. 능력스펙트럼법은 ATC-40¹⁾과 FEMA-273²⁾에 도입되었으며 지진에 대한 요구성능과 구조물의 보유능력을 한 그래프에 표현하기 위하여 ADRS(Acceleration Displacement Response Spectrum)형식을 사용한다. 일반적으로 지진요구는 비탄성요구성을 나타내며 구조물의 보유능력은 [그림 5]과 같이 비탄성 정적해석으로 산정되어 지며 구조물에 추가되는 요구 스펙트럼은 [그림 6]과 같이 일반적으로 주기(T)에 대한 응답가속도(S_a)의 형태로 표현된다. 이에 대한 능력과 요구곡선을 이용하여 [그림 7]와 같은 성능점을 산정하여 내진성능을 평가한다. 이때 구조물의 선형탄성응답은 5% 감쇠비의 요구스펙트럼을 이용하여 나타낸다.



[그림 5] ADRS형식으로 표현된 성능곡선

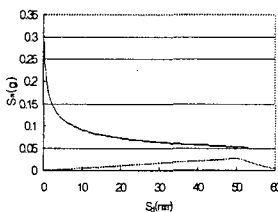


[그림 6] ADRS 형식으로 표현된 요구곡선

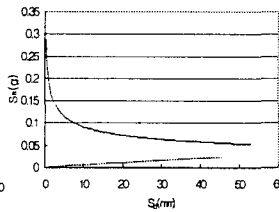


[그림 7] 성능점 산정

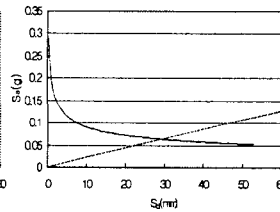
각 동의 구조해석을 수행한 후 X방향(구조물의 장축방향)에 대한 Push-over해석을 수행하여 능력스펙트럼을 산정하여 정밀내진성능평가를 수행하였다. A동과 B동의 경우 [그림 8], [그림 9]와 같이 해석결과가 나타났으며, 이는 구조물이 X방향 내진성능이 매우 부족하여 강도증진형 내진성능보강이 시급히 수행되어야 하는 구조물로 나타났다. 이는 각 동의 구조평면도에서도 잘 나타나 있듯이 X방향의 횡력을 지지하는 요소가 매우 부족하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 C동과 D동의 경우 [그림 10], [그림 11]과 같이 탄성구간에서 성능점이 산정되어 내진성능이 확보된 것으로 나타났으며, 추후 연성을 확보할 수 있는 방안이 수립되어야 할 것으로 판단된다.



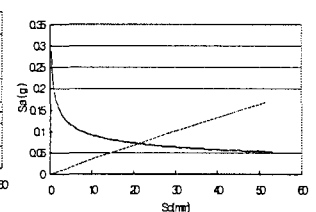
[그림 8] A동 성능요구곡선



[그림 9] B동 성능요구곡선



[그림 10] C동 성능요구곡선



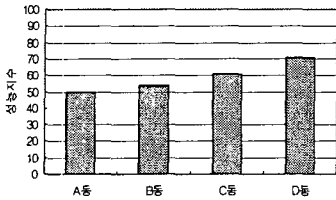
[그림 11] D동 성능요구곡선

5. 분석

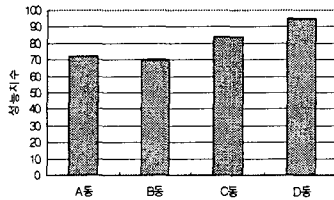
5.1 1차 평가결과 및 각 항목별 분포

각 동의 1차 평가지수를 살펴보면 [그림 5]와 같이 71.4점~86.2점으로 산정되었다. 내진성능을 갖춘 구조물과 내진성능을 갖추지 못한 구조물의 점수분포는 확연히 차이가 나지만 두 그룹 구조물의 점수 차이가 그리 크지 않은 것으로 나타

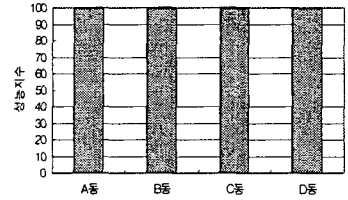
났다. 이는 전문지식이 없는 일반인들에게 내진성능을 갖추지 못해도 안전한 것으로 생각할 수 있어 이에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 이는 정밀평가의 결과와 비교해 보아도 1차 평가의 점수가 대체적으로 높게 나타났으며 이는 평가점수 산정에 형상평가가 30%를 차지하고 있지만 질량변화, 평면변화, 입면변화가 거의 없는 공동주택의 특성상 평가점수의 30%가 기본점수로 더하여지고 있기 때문인 것으로 판단된다. 강도항목평가에는 구조물의 용력평가와 약층의 유무, 단일부재의 파괴가 전체 구조물의 붕괴로 이어질 가능성을 검토하는 잉여력 평가로 이루어져있다. 각 동에 따른 세부 항목을 평가한 결과 [그림 12]와 같이 50점~70.7점으로 산정되었다. 이는 구조물의 용력평가에 있어 X방향으로 작용하는 횡력을 지지하는 벽의 유무에 따라 점수가 산정되고 있는 것으로 내진설계의 유무에 따라 적절한 평가를 수행하는 것으로 산정된다. 강성항목은 구조물의 층간변위와 수직부재들 간의 불연속성을 판단하는 연약층, 건물의 최상층에서의 층간변위에 따른 인접성평가로 이루어져있다. 구조물의 기하학적인 내진취약성은 하중경로, 질량의 급격한 변화 그리고 비틀림 등으로 평가한다. 각 동의 세부 항목을 평가하면 [그림 13]과 같이 70점~95점으로 평가되었다. 이 항목에서 인접성평가는 공동주택에 대해서는 부적절한 평가항목으로 판단된다. 모든 동의 평가항목에서 동일한 점수를 받을 뿐 아니라 법규상에도 인동간격을 규제해 놓았기 때문에 점수화 하는 것이 부적절한 것으로 판단된다. 형상항목을 살펴보면 [그림 14]와 같이 모든 대상구조물에 대해서 동일한 성능지수를 나타내었다. 질량변화와 평면변화 및 하중경로의 세부항목평가가 이루어진다. 이는 세부항목이 공동주택의 평가점수 산정에 부적절한 항목으로 판단된다. 이러한 항목에 대체할 평가 세부항목을 산정해야 할 것으로 판단된다.



[그림 12] 강도항목 비교그래프



[그림 13] 강성항목 비교그래프



[그림 14] 형상항목 비교그래프

6. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 총 4개의 대상구조물에 대하여 2004년 한국시설안전기술공단의 내진성능 평가 요령을 가지고 평가한 결과 현재의 내진성능평가의 성능지수 산정에 있어서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1차 평가 지수는 내진설계도입 이전의 구조물과 내진설계이후의 구조물이 큰 차이를 나타내지 않았다.
- 정밀평가 결과 내진설계 이전의 구조물은 성능점이 산정되지 않아 강도보강형 내진성능보강이 시급한 구조물로 나타났다. 내진설계가 적용된 구조물은 비교적 내진성능이 우수한 것으로 나타났다.
- 1차 평가의 결과가 정밀평가결과와 상이하게 나타난 것은 형상부분의 평가항목이 적절치 못하기 때문으로 판단되며 공동주택에서는 질량변화, 평면변화, 입면변화의 항목선정을 수정해야 할 것으로 판단된다. 추후 필로티어부, 구조형식의 변화 등의 항목이 신설되어야 하며 이에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2004년도 건설핵심기술연구개발 사업(과제번호 : 04핵심기술 C02-02)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. ATC(1996), "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings", ATC-40 Report, Applied Technology Council, Redwood City, California.
2. BSSC(1997), "NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings.", Building Seismic Safety Council, FEMA 273.
3. 한국시설안전기술공단, "기존 건축물의 내진성능 평가 요령", 2004.
4. 김민수 외 5, "철근콘크리트 전단벽식 고층건물의 내진성능평가에 관한 연구", 한국구조물진단학회, 2002.
4. 대한건축학회, "건축물 하중기준 및 해설", 2000.
3. 정란, 박태원, 노공기, 정철화, "벽식 노후 공동주택의 강도보강형 내진성능향상에 관한 연구", 한국지진공학회 학술발표회 논문집, 제8권 1호, 2004, pp.197-204.
4. 정란, 우윤택, 박태원, 나승욱, "전단벽식 구조시스템의 내진성능평가 지표 산정", 한국지진공학회 추계학술표대회 논문집, 제6권 1호, pp.223-230.
5. 김민수, 권영웅, "필로티에 따른 벽식아파트 건물의 내진성능에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제23권 2호, pp.103-106.