

연결보가 있는 철근콘크리트 내력벽시스템의 내진성능평가 -1990년대 공동주택을 중심으로-

Seismic Performance Evaluations of RC Bearing Wall Systems with Coupling Beams - For Apartment Buildings in 1990s

이영욱¹⁾ · 채지용²⁾

Lee, Young Wook · Chae, J Yong

국문 요약 >> 국내에서 1990년대 설계된 철근콘크리트 내력벽시스템으로 설계된 공동주택에 대한 내진 성능평가를 연구하기 위하여 실제 시공된 13개 건물의 도면을 수집하고 해석을 수행하였다. 내진성능을 평가하기 위하여 FEMA 356과 FEMA 440에 따라 산정하였다. 요구곡선을 위하여 내진설계 스펙트럼은 건축구조설계기준(2009년)에서 정한 값을 사용하였다. 각 건물에 대하여 인명안전과 붕괴방지의 수준에 대한 성능점을 산정하였다. 붕괴방지수준에 대하여 성능점에 도달할 때의 부재의 상태를 확인하여 본 결과, 총 13개중 9개(약 70%)의 건물의 연결보와 벽체에 붕괴방지 수준 이상의 손상이 발생하였으며, 내력벽보다 연결보에서 손상이 더 크게 나타났다. 또한 본 연구에서 산정한 성능점과 주기의 상관성을 고찰한 결과, 반비례의 상관성이 있음을 알 수 있었다.

주요어 능력스펙트럼법, 내진성능평가, 내력벽 시스템, 연결보

ABSTRACT >> To investigate the performance of apartment buildings which were built in the 1990s and which have RC bearing wall systems with coupling beams, construction drawings of 13 buildings were collected and analyzed. To evaluate the seismic performance, FEMA 356 and FEMA 440 were selected as guidelines. For the demand curve, the seismic design spectrum in KBC 2009 is used. For each building, the performance points for life safety and the collapse prevention state are calculated. It was found that 9 out of 13 buildings (about 70%) showed damage more severe than the collapse prevention level at the performance point and more damage could be seen at the coupling beams than the walls. However, the story drift limit of FEMA 356 was satisfied for all buildings. Through the analysis of performance points, it was shown that the spectral acceleration has an inverse relationship with the natural period.

Key words Capacity Spectrum Method, Seismic Performance Evaluation, Bearing Wall System, Coupling Beam

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내 내진설계는 1985년 멕시코 대지진을 계기로 1986년 내진설계법이 마련되었고, 1988년 내진 기준이 제정되었다.⁽¹⁾ 그러나 건축물에 내진설계가 처음 도입된 1988년 이후부터 1990년대 초반까지는 내진설계에 대한 개념이 부족하였고, 실제 지진에 대한 설계 경험이 없었기 때문에 구조

설계 실무자들이 적지 않은 어려움을 겪었다.⁽²⁾

국내 1980년대 이후에 지어진 공동주택은 대부분 콘크리트 전단벽으로 되어있는 내력벽 시스템(Bearing Wall)을 사용하였다. 2000년도 설계기준⁽³⁾에서 내력벽시스템의 중요도계수가 1.2에서 1.5로 조정되었다. 2005년 건축구조설계기준⁽⁴⁾에서는 중요도계수가 다시 1.2로 수정되었으며 반응수정계수가 3에서 4.5로 변경되었다.

본 연구에서는 2000년도에 중요도계수가 변경된 시점을 기준으로 1990년대에 지어진 공동주택 중에서 철근콘크리트 내력벽식 시스템의 내진성능평가를 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

구조물의 내진성능 평가를 위하여 내력벽식 시스템을 사

¹⁾ 정희원 · 군산대학교, 교수
(교신저자: leeyu@kunsan.ac.kr)

²⁾ 군산대학교, 석사과정

본 논문에 대한 토의를 2011년 10월 31일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

(논문접수일 : 2011. 3. 28 / 수정일 : 2011. 7. 11 / 게재확정일 : 2011. 7. 11)

© 2011EESK www.eesk.or.kr

용한 모델을 대상으로 1990년대에 시공된 13개의 구조도면을 입수하였다. 도면을 근거로 구조 모델링을 작성하고 비선형 Pushover 해석을 수행하여 능력스펙트럼을 작성하였다.

국내에서 공동주택의 내진성능평가 연구의 결과로 공동주택의 리모델링을 위한 구조설계 및 보강 지침⁽⁴⁾이 제안되었다. 이 지침은 FEMA 356⁽⁵⁾을 근간으로 하고 있다. 그 이후 비선형 해석 방법을 보완한 FEMA 440⁽⁶⁾이 2005년에 제안되었다. 따라서 본 연구에서는 성능평가 기본 방법은 FEMA 356을 따르며 FEMA 440의 비선형 정적 해석과정의 보완된 사항을 따르도록 한다.

성능점은 FEMA 356의 인명안전(Life Safety, LS)과 붕괴방지(Collapse Prevention, CP)의 성능수준을 기준으로 정하였다. 이 때 사용하는 지진스펙트럼은 2009년에 제정된 건축구조설계기준⁽⁷⁾을 이용하였다. 연구를 위하여 수거한 도면은 1988년 내진설계기준에 따라 설계되었지만 그 당시의 스펙트럼의 장주기 영역이 다소 보수적이었고, 국내 내진설계 하중이 2005년과 2009년에 변경되었으므로 2009년에 작성된 스펙트럼⁽⁷⁾을 사용하기로 한다.

2. 내진성능평가 방법

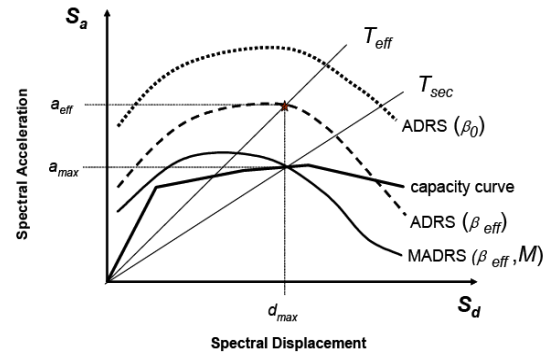
2.1 능력스펙트럼의 작성

내진성능을 평가하기 위하여 앞에서 언급한 FEMA 440⁽⁴⁾에 따라 능력스펙트럼법(Capacity spectrum method)^{(3),(4)}을 사용하였다. 이 능력스펙트럼 작성법의 주요내용을 정리하면 다음과 같다.

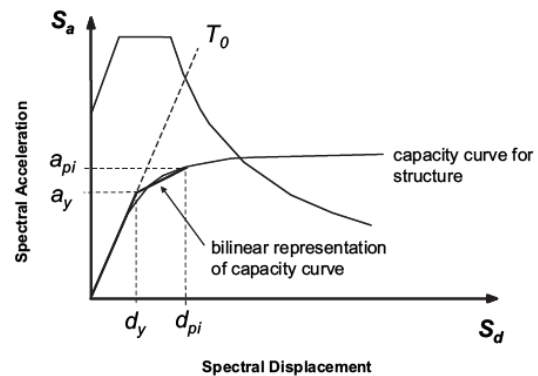
비선형정적해석에 의해구한 밀면전단력(V)과 지붕층변위(Δ_{roof})로 나타내는 능력곡선(pushover curve)을 스펙트럼가속도 S_a 와 스펙트럼변위 S_d 관계를 표현하는 가속도-변위 응답 스펙트럼(Acceleration-Displacement Response Spectra, ADRS) 형태의 능력 스펙트럼으로 변환한다.

단자유도 진동계로 건물의 비탄성을 모델화하는 비선형 정적 절차(NSP; Nonlinear Static Procedure)로서 등가 선형(Equivalent Linearization)이 사용될 때, 그 목적은 그림 1과 같이 유효주기(Effective Period, T_{eff})와 유효감쇠(Effective Damping, β_{eff})를 가지고 있는 등가의 선형 시스템을 가지고 비탄성 시스템의 최대 변위 응답을 추정하는 것이다. 등가 선형을 위한 유효 계수들은 연성도의 함수로 표시된다.

유효주기와 유효감쇠로부터 얻은 가속도-변위 반응 스펙트럼(ADRS)의 절점으로부터 그림 1과 같이 최대 변위값을 산정할 수 있다. 유효주기 T_{eff} 는 능력곡선으로부터 얻은 할선주기 T_{eff} 보다 일반적으로 작다. 유효가속도 a_{eff} 가 의



〈그림 1〉 할선 주기 T_{sec} 와 수정 가속도-변위 반응 스펙트럼(MADRS)



〈그림 2〉 성능곡선의 이선형화

미 있기 위하여 능력곡선의 수준 a_{max} 로 조정되어야 한다. 유효감쇠계수 β_{eff} 에 따른 요구 ADRS 곡선에 수정계수 M 을 곱하면 그림 1과 같이 수정 가속도-변위 반응 스펙트럼(MADRS)의 곡선이 형성된다.

2.2 요구 스펙트럼과 성능점

사용한 요구 스펙트럼은 앞에서 언급한 2009년에 제정한 건축구조설계기준⁽⁷⁾을 이용하였다. 1997년 내진설계기준 연구 결과⁽⁹⁾에 따르면 500년 재현주기의 최대 예상지반가속도는 2400년 재현주기의 50%의 값이므로, 성능점 산정시 500년 재현주기의 지진하중은 2400년 값의 50%를 사용하였다.

성능점은 500년 재현주기에 대해서는 인명안전수준 및 2400년 재현주기에 대해서는 붕괴방지구준의 하중에 대하여 검토하였다.

유효주기 T_{eff} 와 유효감쇠 β_{eff} 는 연성도의 함수이므로 등가선형을 이용한 최대변위 계산은 직접적이지 않으므로 반복적인 연산을 요구하게 된다. 따라서 본 연구에서는 FEMA 440에서 제시하는 방법 중에서 직접계산법(Direct Iteration)을 사용하였다. 이 방법에서는 성능점을 산정하기 위하여 능력스펙트럼의 이선형 모델을 사용한다.

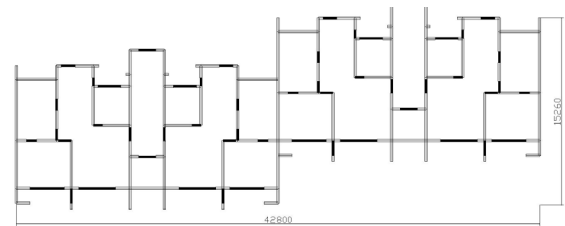
〈표 1〉 대상 모델의 설계 상수

모델	설계연도	층수	고유주기(sec)	하중(kN)		슬래브 두께(mm)	벽 두께(mm)	벽량*	고유모드 참여율(%)			S**	(a) 풍하중(kN)	(b) 지진하중(kN)	1.1(b)/(a)
				DL	LL				DX**	DY***	RZ****				
A	1995	20	0.628	4.54	2	135	195	0.0284	36	34	1	1.5	3,799	4,098	1.19
B	1995	20	0.982	4.54	2	135	195	0.0237	72	0	1	1.5	2,592	3,783	1.61
C	1997	15	0.736	4.9	2	150	200	0.0349	66	0	1	1.5	1,809	3,397	2.07
D	1997	20	0.819	4.9	2	150	200	0.0217	44	0	19	1.5	2,032	3,057	1.65
E	1996	20	1.047	4.8	2	135	200	0.0274	69	0	0	1.5	5,036	4,191	0.92
F	1996	20	0.952	4.8	2	135	200	0.0302	67	0	4	1.5	5,343	4,174	0.86
G	1996	20	1.11	4.8	2	135	200	0.0302	68	0	0	1.5	5,440	4,094	0.83
H	1999	10	0.49	5.35	2	150	135	0.0180	71	0	0	1.2	1,297	2,936	2.49
I	1999	10	0.572	5.35	2	135	135	0.0203	70	0	0	1.2	713	1,505	2.32
J	1999	10	0.456	5.35	2	150	150	0.0220	67	0	0	1.2	1,145	2,067	1.99
K	1999	10	0.339	5.35	2	150	150	0.0303	28	21	21	1.2	890	2,232	2.76
L	2000	15	0.538	5.25	2	155	200	0.0304	65	0	8	1.2	1,067	2,108	2.17
M	2000	15	0.549	5.25	2	155	200	0.0310	65	0	7	1.2	1,215	2,562	2.32

* 벽량 : 벽체의 단면적의 합을 층면적으로 나눈 값

** DX : X방향의 변위, *** DY : Y방향의 변위, **** RZ : Z방향의 회전변위, ※ S : 지반계수(1988년 기준)

이선형 모델은 요구스펙트럼의 적절한 감소와 유효감쇠를 추정하기 위하여 필요하다. 이선형 모델을 만들기 위하여 건물의 초기강성(K_i)을 사용하여 원점으로부터 선을 긋고, 예상 성능점 a_{pi} , d_{pi} 로부터 두 번째 선을 그린다. 그림 2에서 면적 A_1 과 A_2 가 같아지는 점 a_y , d_y 에서 첫 번째 선과 교차하도록 두 번째 선을 기울여 변화시켜서 이선형 모델을 완성한다.



〈그림 3〉 모델 A의 평면도(어긋난 판상형)

3. 대상모델의 해석

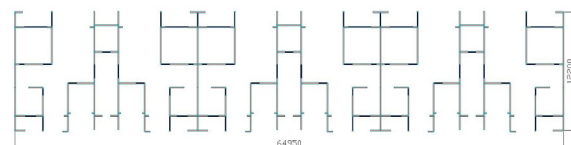
3.1 해석모델개요

본 연구에서는 지진력 저항시스템중 하나인 내력벽 시스템을 선택하여 총 13개 모델의 도면을 수거 하였다. 표 1과 같이 각각 모델의 설계 연도 및 층수 등의 일반사항 및 해석을 통한 고유주기 및 성능점에 대하여 나타내었다.

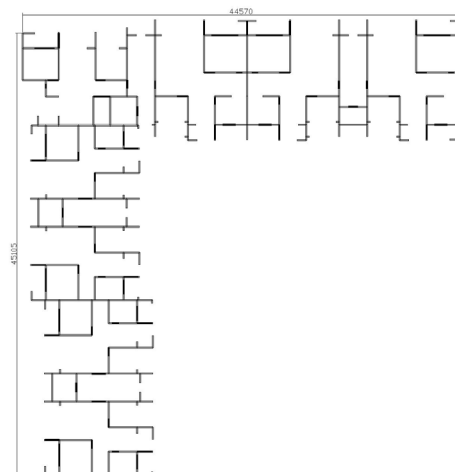
고유모드 참여율의 경우 모델이 어떤 형태로 변형이 되는지를 나타내는 것이다. 각 방향별로 참여율로 나타내었으며 참여율이 높을수록 그 방향으로 변형이 되었다는 것을 알 수가 있다.

총 13개의 모델중 대표적인 세 가지의 평면도를 나타내었다. 평면의 유형을 분류해 보면 어긋난 판상형(그림 3), 판상형(그림 4), 7자형(그림 5)으로 구분할 수 있다. 여기서 진하게 표시된 부분이 연결보를 나타낸다.

표 1에 설계된 건물의 지진하중 계수를 정리하였다. 대상 건물은 1988년 기준⁽¹⁰⁾에 따라 내진설계가 된 것으로 전체



〈그림 4〉 모델 H의 평면도(판상형)



〈그림 5〉 모델K의 평면도(7자형)

모델의 지역계수(A)는 0.12로, 중요도 계수(I)는 1.2, 지반 계수(S)는 모델 A부터 G까지는 1.5, 모델 H부터 M까지는 1.2 이다.

3.2 Pushover 해석 모델링

비선형 정적해석시 수직하중의 영향을 고려하기 위하여 고정하중(D)과 활하중(L)에 값을 식 (1)과 같이 고려하였다. 단 E는 수평으로 작용하는 지진하중이다.⁽⁵⁾

$$U = 1.1 (D + 0.25L) + E \tag{1}$$

대상 구조물을 모델링시 각 부재는 횡하중의 영향으로 강성의 변화가 발생한다. 이를 고려하기 위하여 표 2와 같은 유효강성을 사용하여야 한다.⁽⁵⁾

<표 2> 횡력을 받는 부재의 유효강성

Component	Flexural	Shear	Axial
Beam, Non-Prestressed	$0.5 E_c I_g$	$0.4 E_c A_w$	$E_c A_g$
Columns in Compression	$0.7 E_c I_g$		
Wall, Uncracked	$0.8 E_c I_g$		

FEMA 356에서는 재료의 초과강도를 고려하여 성능을 평가하나 1990년대 국내 시공성의 정도를 감안하여 재료의 초과강도는 고려하지 않았다.

구조 벽체와 연결보 뼈대곡선의 항복점과 극한점과 잔여 강도 등의 값은 FEMA 356의 전단벽과 연결보의 해당 값을 사용하였다. 단, 전단벽은 주(Primary) 부재의 값을, 연결보는 부(Secondary) 부재에 해당하는 값을 사용하였다.

해석을 위하여 범용 프로그램인 MIDAS GEN을 사용하였다. 그림 9는 각 부재별 소성힌지상태를 나타낸 것으로 FEMA 356에 해당하는 부재의 변형한계를 나타낸 것이다.⁽⁵⁾ 그림 9와 표 3에서 B점은 항복점, C점은 극한점, E는 최대변형도, LS는 인명안전상태, CP는 붕괴방지 상태를 의미한다. 또한 P는 주부재와 S는 부부재를 의미한다.

3.3 성능점의 산정

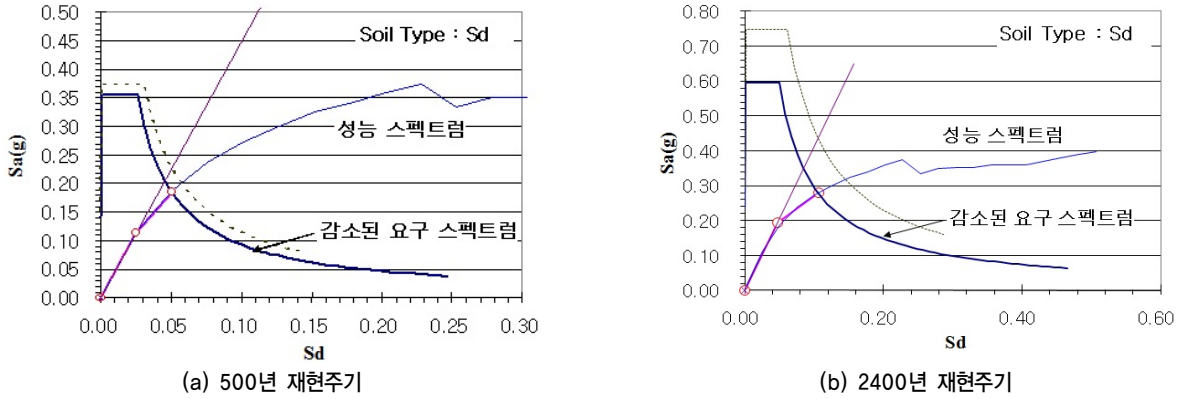
각 모델별로 능력스펙트럼과 지진하중에 대한 요구스펙트럼의 교차점인 성능점을 구하고 성능점에서 발생하는 부재의 손상상태를 확인하였다.

성능점 산정을 위한 요구스펙트럼은 앞에서 언급한 바와 같이 2009년에 제정된 건축설계기준을 적용하였다. 1990년

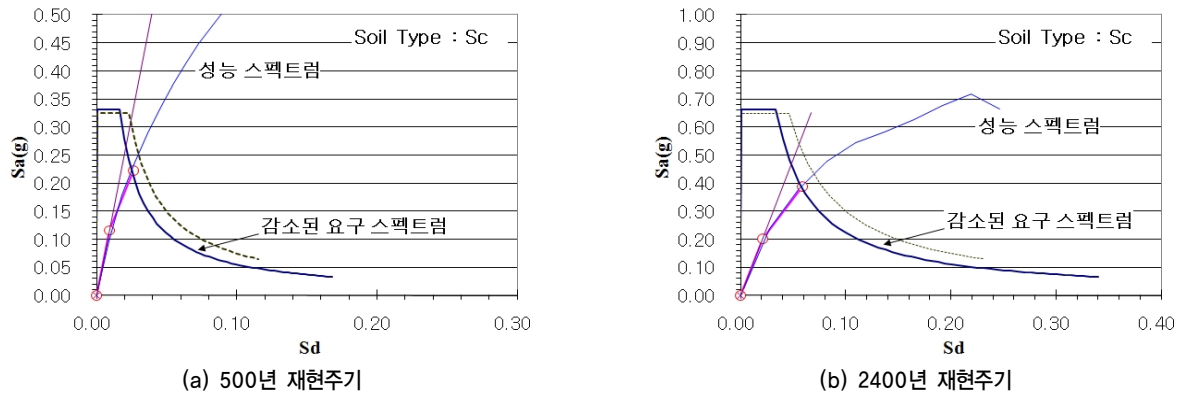
<표 3> 재현주기별 연결보와 벽의 소성힌지 상태(%)(그림6참조)

모델	부재	500년 재현주기					2400년 재현주기			
		LS	CP	D	E	LS이상	CP	D	E	CP이상
C	연결보	-	-	-	-	-	-	3.6	-	3.6
	벽	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	연결보	3.1	-	-	-	3.1	-	-	-	-
	벽	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	연결보	2.4	-	-	-	2.4	-	8.6	-	8.6
	벽	-	-	-	-	-	0.2	1.5	-	1.7
F	연결보	1.8	-	-	-	1.8	-	3.9	0.9	4.8
	벽	-	-	-	-	-	0.3	1.7	0.1	2.1
G	연결보	1.5	-	-	-	1.5	-	2.8	0.8	3.6
	벽	0.1	-	-	-	0.1	0.2	0.9	3.5	4.6
H	연결보	-	-	-	-	-	-	4.7	-	4.7
	벽	-	-	-	-	-	0.5	3.3	0.8	4.6
I	연결보	-	-	-	-	-	-	6.3	-	6.3
	벽	-	-	-	-	-	-	-	-	-
J	연결보	1.5	-	-	-	1.5	-	3.4	3.2	6.6
	벽	0.2	0.1	-	0.8	1.1	0.6	-	4.1	4.7
K	연결보	7.1	-	0.8	-	-	-	2.7	0.3	3
	벽	2.2	0.1	1.1	1.1	-	0.3	2.2	3	5.5
L	연결보	8.4	-	-	-	-	-	2.7	-	2.7
	벽	0.7	-	-	-	-	0.1	-	-	0.1

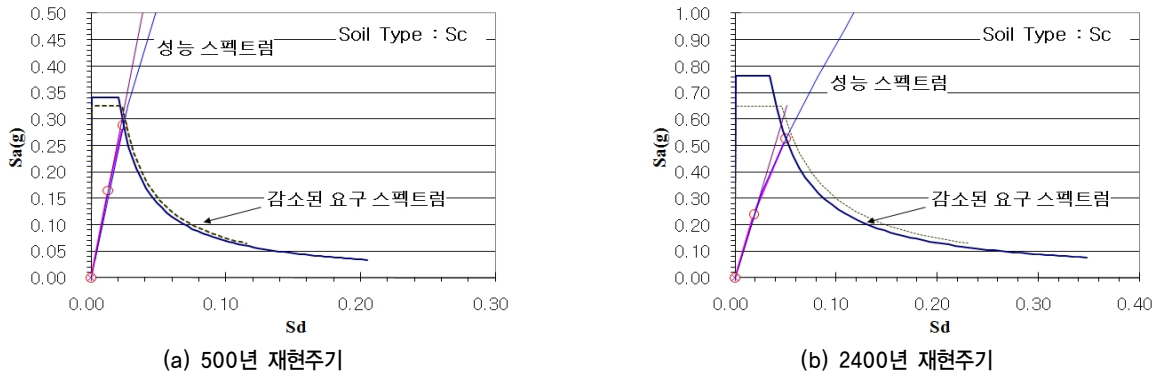
<참고> A,B,M 모델에는 소성힌지가 발생하지 않았음



〈그림 6〉 모델 A(어긋난 판상형)의 재현주기별 성능점



〈그림 7〉 모델 H(판상형)의 재현주기별 성능점



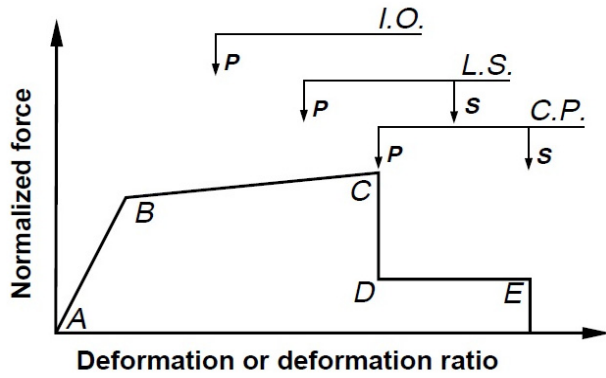
〈그림 8〉 모델 K(ㄱ자형)의 재현주기별 성능점

대 시공된 대상 건물은 1988년 기준에 따라 설계되었으므로 당시의 지반계수 S를 2009년 기준의 지반종류를 다음과 같이 적용하였다. 지반 계수 S가 1.5에 해당하는 모델(A부터 G)에는 Sc, S가 1.2인 모델(H부터 M)에는 Sd를 사용하였다.

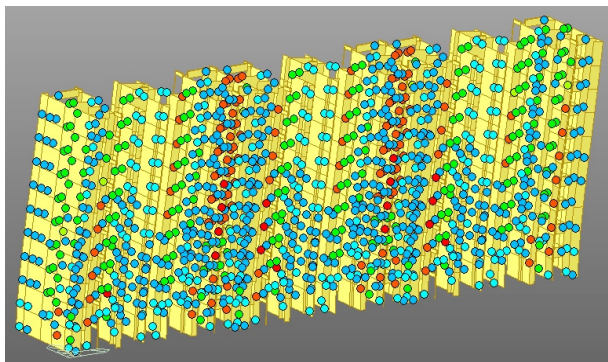
그림 6, 7, 8은 대표적인 세가지 평면의 모델 A, H, K의 500년 및 2400년의 재현주기에 대한 성능점을 나타낸 것이며, 그림 10은 2400년 재현주기 모델 H의 성능점에서 발생한 부재별 손상상태를 나타낸 것이다. 그림에서 진하게 표

시된 부분이 붕괴방지수준을 초과한 부재이다.

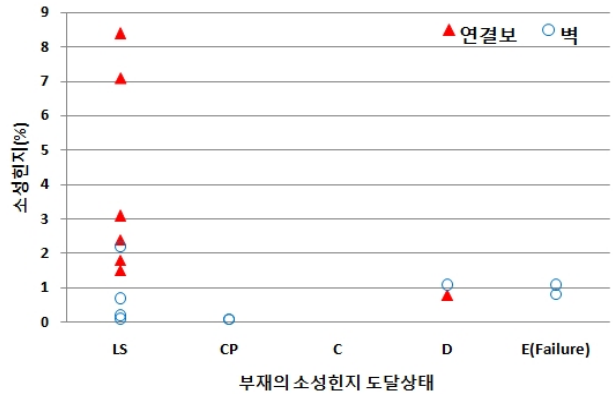
붕괴방지수준의 성능점을 비교하면, 그림 7의 (b)에서 H 모델은 균열점을 지나 구조시스템에 손상이 발생한 점에서 성능점이 산정되었으나, 그림 8의 (b)의 K모델은 초기강성이 크게 변동되지 않는 위치에 성능점이 산정되었다. 그림 6, 7, 8을 보면 붕괴방지의 성능점에서 구조시스템이 항복이 발생하지 않으므로 본 연구대상의 구조물은 붕괴기구에 도달하지 않음을 알 수 있다.



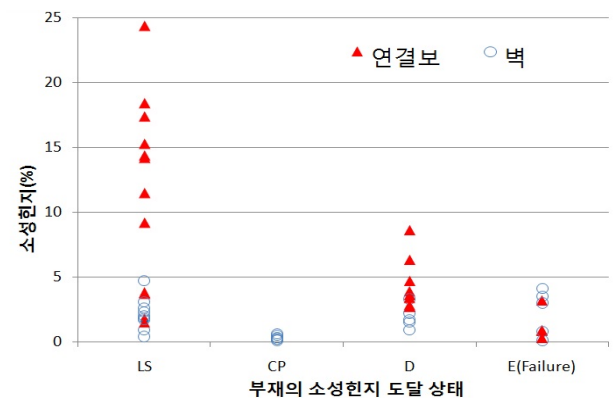
〈그림 9〉 부재 및 요소별 변형한계



〈그림 10〉 모델 H의 붕괴방지수준 성능점에서 손상 상태



〈그림 11〉 연결보와 벽의 소성힌지 도달상태(500년)



〈그림 12〉 연결보와 벽의 소성힌지 도달상태(2400년)

4. 분석

4.1 손상정도

Pushover해석 후 성능점에서 모델별 전체 부재를 내력벽과 연결보로 나누어 인명안전과 붕괴방지수준을 초과한 부재의 차지하는 비율을 표 3에 정리하였다.

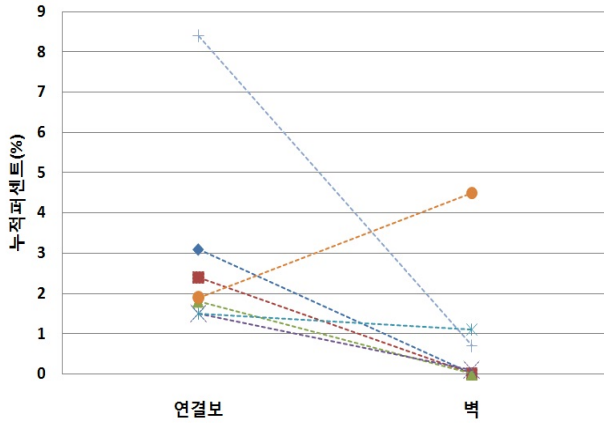
표 3에 정리된 것과 같이 총 13개의 대상건물중 500년 재현주기의 하중에 대하여 인명안전수준의 단계에서 검토하였을 때, 인명안전수준의 단계를 초과한 모델이 7개로 50% 이상을 차지하였다. 또한 J와 L 모델에서는 붕괴방지의 수준을 초과하는 부재가 일부 있었다. 표 3에서 2400년 재현주기에서 약 70%에 해당하는 모델이 붕괴방지수준을 초과하였다.

그러나 붕괴방지수준을 초과하는 부재의 비율은 표 3에서 보듯이 전체 부재의 10% 미만으로 나타났다. 표 1에 설계 당시의 지진하중과 풍하중을 비교한 결과, 대부분의 경우 풍하중(W)보다는 지진하중(1.1E)의 크기가 크게 나타났으므로 설계하중은 지진하중이라고 판단된다. 왜냐하면 본 연구 대상 모델에 적용된 설계기준에서 하중 조합계수로 지

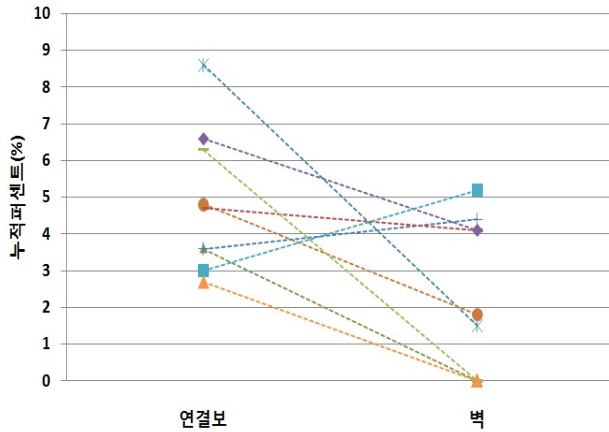
진하중에 대하여 1.1E, 풍하중은 1.0W를 사용하였기 때문이다. 따라서 Pushover 해석결과 나타난 높은 초과강도는 풍하중의 영향이라고 보기는 어려우며, 연결보의 영향 또는 수직하중 또는 세대간벽과 같이 설계의 관행에 따라 벽체의 길이가 긴 효과 등이라고 추측된다.

그림 11과 그림 12에 연결보와 벽에 어느정도 손상이 발생하였는지 각각 백분율로 표시하였다. 500년 재현주기의 경우 LS단계에서 뚜렷하게 연결보의 소성힌지상태가 높은 것을 볼 수가 있으며 마찬가지로 2400년 재현주기에서도 두드러지게 소성힌지상태가 높은 것을 알 수가 있다. 이는 연결보가 내력벽 보다 상대적으로 지진력에 대하여 취약하다는 것을 시사하고 있다.

그림 13은 500년 재현주기에 대하여 LS수준을 초과하는 부재의 비율을 표기한 것이다. 총 6개의 건수 중 5개의 모델에서 연결보의 손상정도가 크게 발생하고 있다. 그림 14는 2400년 재현주기에 대하여 CP수준을 초과하는 부재의 비율을 표기한 것이다. 총 8개의 건수 중 6개의 모델에서 연결보의 손상정도가 크게 발생하고 있다. 따라서 전반적으로 연결보가 내력벽보다 더 취약하다는 것을 알 수 있다.



〈그림 13〉 LS이상단계의 소성흔지 도달상태(500년)



〈그림 14〉 CP이상단계의 소성흔지 도달상태(2400년)

4.2 층간변위비

성능에 기초한 내진설계에서 구조물의 내진성능을 평가할 때에 가장 중요하게 생각하는 변수가 층간변위비이다.⁽¹¹⁾ 각각의 모델은 표 4와 같이 인명안전수준에서는 층간변위비 1.0%에서, 붕괴방지 수준에서는 층간변위비 2.0% 대하여 허용층간변위에 대한 각각의 모델들의 거동한계를 만족하는지 검토하였다.

그림 15는 모델 H의 2400년 재현주기 지진하중에 대한 층간 변위비를 나타낸 것이다. 그림에서 중간층인 6층에서 최대층간변위 18.4mm가 발생하였고, 층간 변위비로 환산하면 0.71%이다. 이는 성능수준에 시스템의 설계거동한계를 나타내는 표 4와 비교하였을 때 허용치 2%를 만족한다.

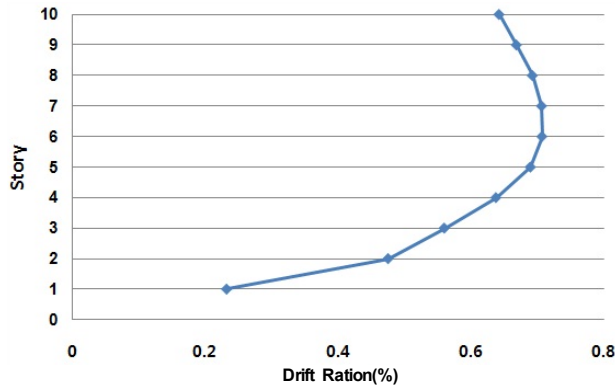
표 5는 전체 모델들의 500년 재현주기 및 2400 재현주기에서의 최대 층간변위 및 최대 층간변위비를 나타낸 것이다. 500년 재현주기에서는 모든 모델이 0.5% 이하로 나타났다.

〈표 4〉 성능수준에 따른 부재 및 시스템의 설계거동한계⁽⁵⁾

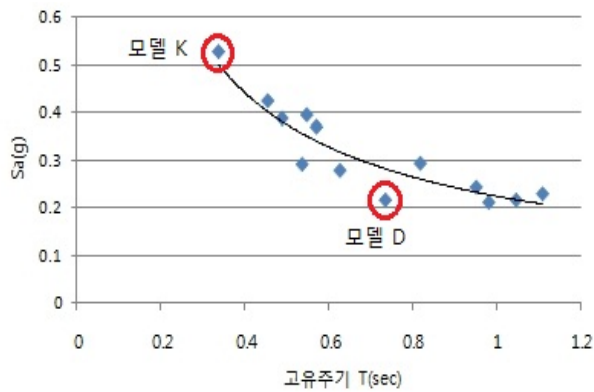
시스템 상태	성능 수준		
	기능수행	인명안전	붕괴방지
전체건물 피해상태	경미함	보통	심함
허용단기 층간변위	<0.5%+/-	<1.0%+/-	<2.0%+/-
허용영구 층간변위	무시할 정도	<0.5%+/-	<2.0%+/-

〈표 5〉 모델별 층간 최대변위비 및 성능점

모델	500년 재현주기		2400년 재현주기		인명안전수준 성능점		붕괴방지구준 성능점	
	최대 변위(mm)	최대 변위비(%)	최대 변위(mm)	최대 변위비(%)	Sa(g)	Sd(m)	Sa(g)	Sd(m)
A	7.7	0.27	12.5	0.45	0.186	0.051	0.28	0.107
B	9.9	0.35	19.6	0.70	0.132	0.078	0.213	0.16
C	8.3	0.30	14.6	0.56	0.18	0.049	0.295	0.105
D	13.6	0.49	22.5	0.86	0.139	0.065	0.218	0.144
E	9.5	0.34	19.1	0.73	0.137	0.075	0.218	0.149
F	8.3	0.30	19.8	0.76	0.153	0.067	0.245	0.135
G	9.5	0.34	19.2	0.74	0.134	0.076	0.231	0.159
H	7.9	0.28	18.4	0.71	0.223	0.026	0.388	0.059
I	10.0	0.36	20.0	0.77	0.205	0.026	0.371	0.061
J	6.1	0.22	12.8	0.47	0.255	0.023	0.424	0.051
K	13.2	0.47	19.5	0.75	0.289	0.024	0.526	0.05
L	11.2	0.40	16.7	0.63	0.188	0.034	0.293	0.07
M	5.5	0.20	9.8	0.37	0.23	0.027	0.395	0.057



〈그림 15〉 모델 H의 층간변위비



〈그림 16〉 Sa-T의 상관관계(2400년 재현주기)

2400년 재현주기에 대해서는 모든 모델이 1.0% 미만으로 나타났다. 최대 층간변위를 갖는 것은 모델 D로 최대 층간변위비 0.86% 이었다. 평면형상도 다른 일반의 일자형이 아니라 T자이기 때문에 어느 정도 거동하는데 영향을 주었을 것이라고 사료된다.

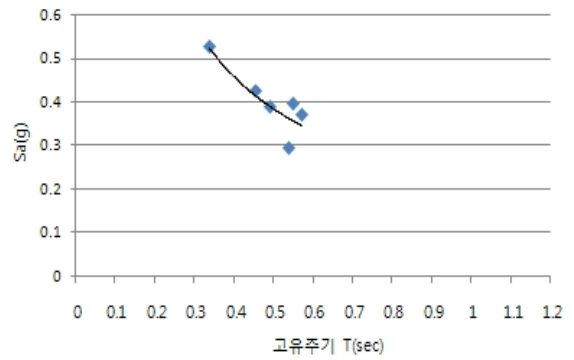
표 4에서 FEMA 356에서 정하는 LS의 단계가 1%이나, 해석결과를 보면 2400년 수준에서 최대 층간변위비는 1% 미만이었음을 볼 수 있다. 그러나 층간변위비가 1%에 도달하기 이전에 연결보와 벽체에 상당한 손상이 발생하였다.

4.3 스펙트럼가속도와 주기 등의 관계

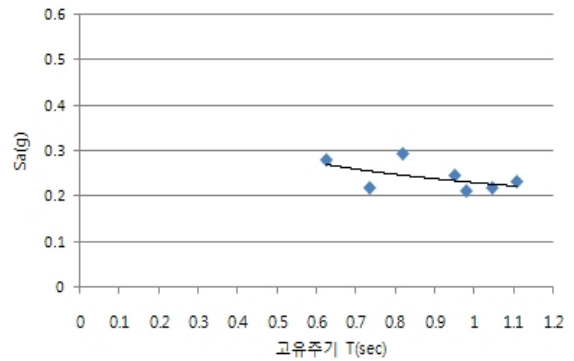
총 13개의 모델중 지반의 특성 S_c , S_D 지반으로 나누어 2400년 재현주기에 대하여 스펙트럼가속도 S_a 와 건물의 주기 T의 상관관계를 그림 17에 나타냈다. 그림의 실선은 추세선이며 해당식은 식 (2), (3)과 같다.

지반 S_c 의 경우 $S_a = 0.224 T^{-0.801}$ (2)

지반 S_D 의 경우 $S_a = 0.231 T^{-0.342}$ (3)

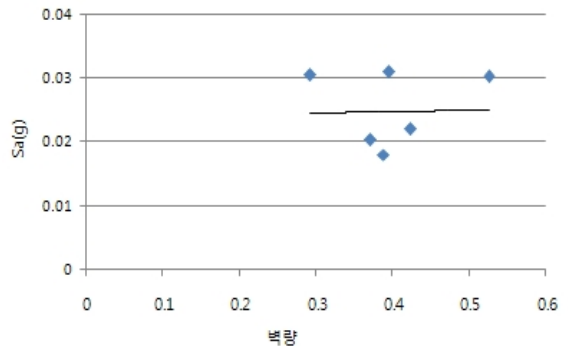


(a) 지반종류 S_c

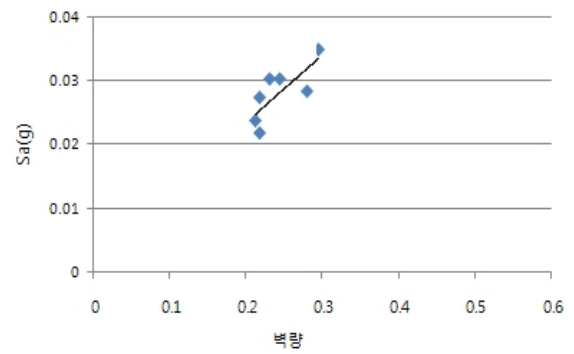


(b) 지반종류 S_D

〈그림 17〉 지반종류에 따른 Sa-T의 상관관계



(a) 지반종류 S_c



(b) 지반종류 S_D

〈그림 18〉 지반종류에 따른 Sa-벽량의 상관관계

그림 17은 2400년 재현주기 하중에 대한 성능점에서 지반 종류별로 고유주기와 스펙트럼 가속도의 관계를 도시한

것으로 반비례의 관계를 보여주고 있다. 그러나 그림 18은 2400년 재현주기에서 스펙트럼 가속도와 벽량의 관계에 대하여 상관관계를 도시한 것으로 지반종류 Sc에서는 반비례의 모습을 보여주고 있으나 지반종류 S_D에서는 비례하는 형상으로 나타나 관계성을 찾기가 곤란하였다.

지반종류에 따른 상호인자간의 연관성을 확인해 보기 위하여 식 (2)의 그래프를 연장시켜 S_D지반의 데이터를 넣어서 확인해 보았다. S_C지반의 관계식 (2)를 사용하여 S_D의 지반에도 적용하였으며 그 결과가 그림 16이다. 13개의 전체 모델에 대하여 식 (2)를 이용할 때의 R-제곱 값을 산정한 결과 0.86이 나왔다. 따라서 지반의 정도 S_C, S_D에 큰 관계 없이 주기와 스펙트럼 가속도에 상관관계가 있음을 볼 수 있다.

그림 16에서 추세선과 약간 떨어진 모델 D는 평면의 형태가 일반적인 판상형의 형태가 아닌 T자 평면을 갖고 있기에 벗어난 것으로 판단된다.

2400년 재현주기의 경우와 마찬가지로 500년 재현주기에 대하여 스펙트럼 가속도 S_a와 건물의 주기 T의 상관관계를 구한 값은 식 (4)와 같다. 이 때의 R-제곱 값이 0.88으로 산정되었으므로 두 변수의 상관성이 어느 정도 있다고 할 수 있다.

$$S_a = 0.139 T^{-0.672} \quad (4)$$

5. 결론

본 연구는 국내 내진기준에 의해 1990년대 내력벽식 시스템의 아파트를 대상으로 실제로 시공된 건물의 설계도에 따라 부재와 철근 배근을 사용하여 구조 모델링을 작성하고, FEMA 356과 FEMA 440에 따라 인명안전 및 붕괴방지수준에 대하여 성능을 검토하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 성능점에서 모델의 내력벽과 연결보의 손상상태를 확인해보면 500년 재현주기의 지진하중에서는 13개의 모델 중 7개의 모델(약 54%)에 인명안전수준 이상의 손상이 발생하였다. 2400년 재현주기의 지진하중에서는 13개의 모델 중 9개의 모델(약 70%)의 건물에서 붕괴방지수준 이상의 손상이 발생하였으며 손상된 부재의 비율은 10% 미만으로 나타났다.

2. 2400년 재현주기의 지진하중에 대하여 산정한 성능점에서, 연결보의 파괴(붕괴방지수준 이상) 비율이 내력벽의 경우보다 더 크게 나타났다.

3. 성능점의 최대 층간변위비는 구조물의 중간층에서 발생하였다. 또한 층간비는 2400년 재현주기의 하중에 대하여 FEMA 356의 붕괴방지수준의 층간변위비 2%보다 작은 1% 미만이었다. 그러나 층간변위비 1%에 도달하기 이전에 연결보와 벽체에 상당한 손상이 발생하였다.

4. 500년 재현주기와 2400년 재현주기 하중에 대한 성능점에서 스펙트럼 가속도와 주기는 반비례의 관계를 보여 주었다. 지반계수 S=1.2가 적용된 모델의 경우에 대하여 산정된 관계식을 S=1.5의 경우에 까지 확대 적용한 경우에도 스펙트럼 가속도와 주기의 상관성이 높게 나타났다.

그러나 본 연구의 결과는 제한된 수의 경우에 대한 연구 결과이므로, 신뢰성있는 결과를 위하여서는 대상 모델의 개체수를 확대하여 보완할 필요가 있다.

참고 문헌

1. 소방방재청, 국내 건축구조물의 지진취약도합수 개발, 219-234, 2009.
2. 정란, 우성식, 최기영, 박태원, “기존 철근콘크리트 벽식 공동주택의 내진 성능 예비 평가법에 관한 연구,” 한국콘크리트학회 논문집, 제19권, 제3호, 393-400, 2007.
3. 대한건축학회, 건축물 하중기준 및 해설, 2000.
4. 대한건축학회, 공동주택의 리모델링을 위한 구조설계 및 보강지침, 2003.
5. Federal Emergency Management Agency, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 356), 2000.
6. Federal Emergency Management Agency, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedure(FEMA 440), 2005.
7. 대한건축학회, 건축구조설계기준 및 해설, 2009.
8. 대한건축학회, 건축구조설계기준 및 해설, 2005.
9. 건설교통부, 내진설계기준연구(II), 1997.
10. 건설부, 건축물의 구조기준등에 관한 규칙, 1988.
11. 송호산, 한동훈, “국내 내진기준에 의해 설계된 R-C구조물의 내진성능평가,” 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제28권 제1호, 2008.