

벽식구조 아파트건물의 강재이력형 댐퍼 적용성 평가

Applicability of the Hysteretic Steel Dampers to the Shear-wall Dominant Apartment Buildings

천영수¹ · 박지영²

Young-Soo Chun¹ and Ji-Young Park²

(Received August 8, 2012 / Revised October 15, 2012 / Accepted October 15, 2012)

요 약

이 연구에서는 국내 아파트 건물의 주요 횡력저항시스템인 전단벽식 구조를 대상으로 제진장치의 적용 가능성을 검토해 보았다. 연구목적 달성을 위하여 ASCE/SEI 7-10 제진구조물 설계방법을 현재 설계 중이거나 이전에 설계된 4개의 대표적인 전단벽식 아파트에 적용하여 내진성능 확보를 위하여 요구되는 제진장치의 성능에 대하여 조사하였다. 연구결과, 전단벽식 아파트에 제진장치를 이용하여 내진성능을 확보하기 위해서는 탄성강성이 높은 전단벽의 영향으로 인하여 제진장치의 강성이 매우 커야 함을 알 수 있었다. 이와 같은 높은 강성의 제진장치는 현실적으로 구현하기 매우 어려울 수 있으므로 전단벽식 건물에 제진장치를 설계할 때 주의하여야 하며, 벽량이 많은 전단벽식 건물의 경우 강재이력형 제진장치의 적용에 한계가 있는 것으로 판단된다.

주제어 : 전단벽식 아파트, 제진구조, 강재형 이력댐퍼, 내진성능

ABSTRACT

In this study, the possibility of applying the damping devices to shear-wall dominant apartment buildings(SDA) was examined. In order to achieve research objectives, ASCE/SEI 7-10 design procedure for structures with damping systems applied to four representative apartment buildings which are under design or previously designed with the shear-wall dominant system, and the performances of damping devices were investigated. It is shown that in order to secure the seismic performance of SDA by using dampers, the stiffness of the dampers should be very large because of the effects of shear walls with the high elastic stiffness. But since this large stiffness is highly difficult to implement in reality, prudent decisions have to be made in designing the SDA with damping system and friction dampers with the high initial stiffness are more effective than hysteretic steel dampers.

Key words: Shear Wall Dominant Apartment Buildings, Structures with Damping System, Hysteretic Steel Dampers, Seismic Performance

1. 서론

최근 들어 전 세계적으로 대형 지진의 발생빈도가 점점 높아지고 있으며, 급격한 도시화와 이에 따른 인구집중 등으로 피해도 기하급수적으로 늘어나고 있다. 따라서 세계 여러나라에서는 구조물에 대한 지진피해가 경제적인 손실뿐 아니라 수많은 인명을 앗아갈 수 있다는 점에 주목하고 이를 최소화하려는 노력을 경주하고 있다. 우리나라도 지진 발생으로 인한 피해의 예외 지역이 아니라는 사실을 인식하고 1986년 12

월에 건축물은 지진에 대하여 안전한 구조를 가져야 함을 건축법으로 규정하였으며, 1988년에 개정된 “건축물의 구조 기준 등에 관한 규칙”에서 처음으로 체계적인 건축물의 내진설계기준이 제정되었다. 이 후 내진설계에 관한 연구와 기술개발이 진행되어 수차례 내진설계기준이 개정되었다.

현행 국내 내진기준(KBC2009)에는 철근콘크리트 전단벽식 구조와 관련된 설계기준에 명시되어 있음에도 불구하고 일반적으로 철근콘크리트 전단벽식 구조는 지진과 같은 반복 하중에 대해 안전성이 떨어진다는 우려가 항상 존재하고 있

1) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원(교신저자: cysoo@lh.or.kr)

2) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원

다. 따라서 최근 이를 해결하기 위한 방안의 일환으로 성능기반설계법을 공동주택의 내진설계에 접목하고자 하는 노력과 함께 지진에 의해 구조물로 인입되는 에너지를 효과적으로 소산시키기 위한 제진장치의 개발과 적용이 큰 관심을 얻고 있다(안태상, 2008). 그러나 최근 국내에서 적용되고 있는 대부분의 제진구조는 본래의 의미에 충실하여 설계되기보다는 지진하중을 줄이기 위한 방편으로 이용되고 있어 요구되는 내진성능이 충분히 확보될 수 있을 것인가에 대하여 재검토가 필요한 상황이다(김중호, 2012).

제진구조는 제진장치의 특성과 적용방법에 따라 그 성능이 크게 달라질 수 있는 구조이다(Christopoulos and Filiatrault, 2006). 효과적으로 제진구조를 도입하기 위해서는 현재 사용 가능한 제진장치들의 특성을 정확히 파악하고, 구조시스템별로 적용 가능한 형태 및 방법을 정립할 필요가 있다. 이러한 관점에서 최근 공동주택에 적용되고 있는 몇몇 제진장치들은 실제 지진이 작용할 때 그 기능이 충분히 발휘될 수 있을 것인가에 대하여 다수의 엔지니어로부터 의문이 제기되고 있는 실정이다(김중호, 2012). 특히 아파트의 주된 횡력저항시스템으로 사용되고 있는 벽식구조는 국내의 독특한 구조시스템으로 국외에서는 찾아보기 어려운 구조형식이므로 동 구조에 대하여는 아직까지 이 문제에 대하여 구체적인 연구결과가 제시된 사례가 거의 없다는 점에서 더욱 관심이 집중되고 있다.

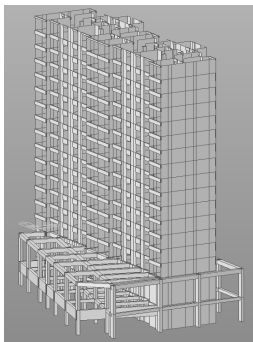
따라서 이 논문에서는 국내 공동주택의 대표적인 구조형식으로 적용되고 있는 전단벽식 구조시스템을 대상으로 제진구조의 적용성을 검토해 보고자 한다. 단, 제진구조의 특성은 제진장치 및 아파트 건물의 규모 및 형태에 따라 다르게 나타날 수 있으므로 모든 종류의 건물들을 대상으로 적용성 여부를 검토하는 것은 한계가 있어 여기서는 LH공사에 현재 설계 중이거나 이전에 설계된 벽식구조 건물들 중 대표성을 갖는 4개의 건물들로 한정하였으며, 제진장치는 전단벽식 공동주택의 동적특성과 지진 발생 시 거동, 국내 제진장치 제작사의 제작능력 등을 고려하여 강재이력형 제진장치로 제한하였다. 설계 및 성능 검토는 ASCE/SEI 7-10(ASCE, 2010)의 제진구조물 설계절차에 따라 수행하였다.

2. 연구대상 건물 및 동적특성

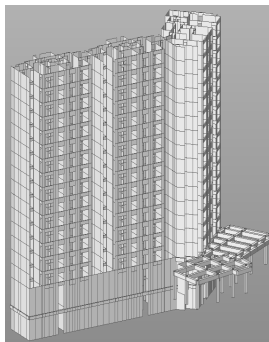
연구대상 아파트 건물은 LH공사에 현재 설계 중이거나 이전에 설계된 건물들로서 평형 및 규모별로 벽식구조를 대표할 수 있는 15층 규모의 4개 아파트를 표준모델로 선정하였다. 표 1은 연구대상으로 선정된 4개의 공동주택에 대한 건물 총 지진중량, 기본 진동주기, 스펙트럼 가속도 및 등가정적법과 응답스펙트럼법으로 구한 설계 밀면전단력을 정리하여 나타낸 것이며, 그림 1은 건물의 형태 및 규모를 보여주고 있다.

표 1. 전단벽식 공동주택의 설계자료

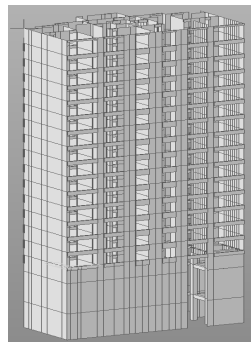
구 분		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	
건물 총 지진중량(kN)		113,162	198,231	56,772	130,081	
기본 주기 (sec.)	단변(X) 방향	0.805	0.878	0.745	0.796	
	장변(Y) 방향	0.960	1.205	0.972	0.984	
스펙트럼 가속도	단변(X) 방향	0.236	0.217	0.255	0.239	
	장변(Y) 방향	0.198	0.158	0.195	0.193	
설계밀면 전단력 (kN)	등가정적	단변(X) 방향	8,017	12,875	4,346	9,318
		장변(Y) 방향	6,778	9,380	3,329	7,543
	응답 스펙트럼	단변(X) 방향	6,815	10,944	3,694	7,920
		장변(Y) 방향	5,731	7,973	2,830	6,404



(a) Case 1 : 59-58U-15F



(b) Case 2 : 74+84-60U+30U-15F



(c) Case 3 : 74-30U-15F



(d) Case 4 : 84+60U-15F

그림 1. 연구대상 전단벽식 아파트 건물들

연구대상 건물들의 높이는 15층으로 동일하지만 바닥면적에 따라 건물 총 지진중량이 Case 3의 경우 56,772kN인 반면 Case 2의 경우 가장 큰 198,231kN으로 각각 다르다. 이 연구에서 고려하는 아파트들의 단변(X)방향 1차 주기는 0.745~0.878초, 장변(Y)방향의 1차 주기는 0.960~1.205초로 단변방향의 1차 주기가 장변방향의 1차 주기보다 짧은 전형적인 국내 아파트의 전단벽식 동적특성을 가지고 있다.

연구대상 건물들의 규모가 15층임을 감안할 때 1차 진동주기는 전단벽량이 대체적으로 많아 현행 내진설계기준(KBC2009)(대한건축학회, 2009)에서 제시하고 있는 경험식에 의한 기본 진동주기에 비하여 짧은 것으로 조사되었다. 설계 밀면전단력은 탄성응답스펙트럼에 의해서 결정되었는데 등가정적 해석에 의해 구한 밀면전단력의 85%에 도달하도록 조정계수(Scale factor)를 적용하였다.

제진건물을 설계할 때, 일반적으로 건물을 지진력저항시스템(SFRS, Seismic Force-Resisting System)과 감쇠시스템(Damping System)으로 구분하여 설계를 진행하고, 감쇠시스템의 감쇠능력을 고려하여 지진력저항시스템에 재하되는 밀면전단력을 감소시킨다(ASCE7-10, 2010). 이 때 SFRS의 모드참여계수와 모드형상은 제진건물의 성능점을 산정하는데 매우 중요

하다. 따라서 이 절에서는 4개의 전단벽식 아파트의 고유치해석을 수행하여 각 건물별 각 방향별 1차 모드의 참여계수와 모드형상을 구하여 표 2와 표 3에 정리하였다.

3. 제진건물의 설계

3.1 제진구조물의 설계방법

ASCE/SEI 7-10의 18장에서는 제진구조물 설계를 위해 제진구조물의 강도를 기반으로 한 지진력 결정방법과 제진구조물에 대한 설계요구조건을 제시하고 있다. ASCE/SEI 7-10에서 제시하고 있는 강도기반 제진구조물 설계법은 일반 내진구조물 설계법과 유사한 절차를 수행하도록 함으로써 실무 적용성을 극대화한 설계절차이다. 제진구조물의 SFRS를 반응수정계수와 같은 내진설계변수를 이용하여 이선형 거동으로 가정하고, 제진장치에 의한 에너지 소산량을 이용하여 구한 등가점성감쇠비(equivalent viscous damping ratio)(Chopra, 2007)와 SFRS의 비선형 이력거동에 의한 감쇠비의 합으로 구한 유효점성감쇠비(effective viscous damping ratio)로 설계 지진 응답가속도를 감소시켜 밀면전단력을 구한 후 SFRS를 설계하는 절차를 제시하고 있다. 제진장치 설계는 설계지진

표 2. 장변방향(X방향) 1차 모드 참여계수와 모드 형상

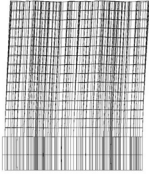
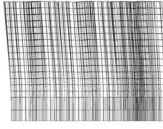
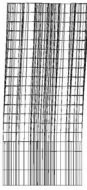
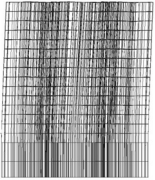
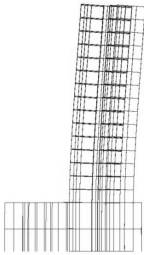
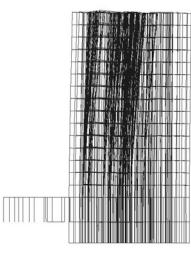

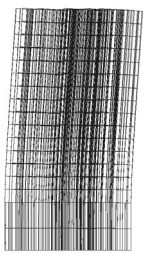
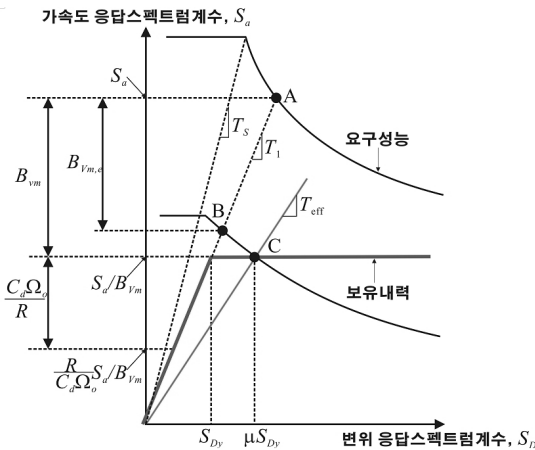
구분	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
모드 형상				
주기(sec.)	0.8045	1.2046	0.9719	0.9842
모드참여계수	1.5021	0.6100	1.1621	1.1453
모드 형상	Roof	1.0000	1.0000	1.0000
	15 F	0.9195	0.9195	0.9340
	14 F	0.8384	0.8384	0.8666
	13 F	0.7570	0.7570	0.7967
	12 F	0.6754	0.6754	0.7243
	11 F	0.5943	0.5943	0.6497
	10 F	0.5144	0.5144	0.5734
	9 F	0.4363	0.4363	0.4959
	8 F	0.3610	0.3610	0.4185
	7 F	0.2895	0.2895	0.3425
	6 F	0.2229	0.2229	0.2687
	5 F	0.1623	0.1623	0.1992
	4 F	0.1089	0.1089	0.1355
	3 F	0.0641	0.0641	0.0798
	2 F	0.0293	0.0293	0.0349
1 F	0.0055	0.0071	0.0081	

표 3. 단변방향(Y방향) 1차 모드 참여계수와 모드 형상

구분	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	
모드 형상					
주기 (sec.)	0.8045	0.8776	0.7447	0.7958	
모드참여계수	1.5021	0.9819	1.4962	1.4727	
모드 형상	Roof	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	15 F	0.9195	0.9219	0.9249	0.9270
	14 F	0.8384	0.8427	0.8489	0.8528
	13 F	0.7570	0.7632	0.7721	0.7772
	12 F	0.6754	0.6835	0.6948	0.7001
	11 F	0.5943	0.6042	0.6172	0.6222
	10 F	0.5144	0.5259	0.5400	0.5439
	9 F	0.4363	0.4491	0.4639	0.4661
	8 F	0.3610	0.3750	0.3900	0.3896
	7 F	0.2895	0.3045	0.3189	0.3155
	6 F	0.2229	0.2383	0.2520	0.2452
	5 F	0.1623	0.1778	0.1901	0.1799
	4 F	0.1089	0.1242	0.1347	0.1210
	3 F	0.0641	0.0783	0.0870	0.0707
	2 F	0.0293	0.0421	0.0485	0.0309
1 F	0.0055	0.0176	0.0218	0.0059	



등가점성 감쇠비(%)	가속도응답 감소계수
2 미만	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.8
40	2.1
50	2.4
60	2.7
70	3.0
80	3.3
90	3.6
100 이상	4.0

그림 2. 제진구조물의 성능점과 가속도응답 감소계수(ASCE/SEI 7-10)

뿐만 아니라 최대지진에 대한 요구성능을 계산하여 이를 만족하도록 명시하고 있다.

ASCE/SEI 7-10에서 사용하고 있는 제진구조물의 성능점은 설계가속도스펙트럼에 의해서 결정되는 요구성능과 제진

구조물이 보유하고 있는 보유내력이 만나는 점으로, 설계지진 또는 최대지진 시 제진구조물의 최대변위응답과 최대가속도응답으로 정의할 수 있다. 그림 2는 제진구조물의 성능점을 결정하는 일련의 과정을 도시한 것이다. 제진장치가 없는

SFRS가 탄성거동을 할 경우의 성능점은 A로 나타낼 수 있다. 제진장치와 SFRS의 소성변형으로 인한 추가 감쇠비는 그림 2에서 보는 바와 같이 가속도응답스펙트럼을 감소시켜 성능점을 B로 이동시킨다. 뿐만 아니라 SFRS의 항복은 유효 주기를 증가시켜 제진구조물의 최종 성능점은 C가 된다. 이때 성능점에서의 가속도응답스펙트럼 감소계수는 그림 2에 주어져 있다.

3.2 설계 가정사항

이 연구에서 전단벽식 구조시스템의 내진성능확보를 위하여 사용한 제진장치는 강제이력형 제진장치로 제한하였는데, 이는 국내 제진장치 제조사의 제작능력을 고려하고, 강성이 큰 전단벽식 구조의 동적특성을 고려하여 결정된 것이다. 뿐만 아니라 제진장치 적용에 있어서 시공과 유지관리 비용 또한 제진장치 결정에 중요한 고려 대상이므로 변위의존형 제진장치(displacement-dependent damping device)가 속도의존형 제진장치(velocity-dependent damping device)에 비하여 상대적으로 관련된 비용이 저렴한 것으로 판단되어 이 연구에서는 제진장치의 종류를 강제이력형 또는 마찰형 제진장치와 같은 변위의존형 제진장치(Christopoulos and Filiatraut, 2006)로 한정하였다.

제진장치의 설계는 연구대상으로 선정된 4개의 아파트에 대하여 ASCE/SEI 7-10에서 제시하는 바에 따라 표 1에 주어진 설계밀면전단력의 75% 수준으로 설계밀면전단력을 저감시키는 것을 설계목표로 설정하였다. 일반적으로 SFRS에 제진장치를 적용할 경우, SFRS를 제진구조물에 맞게 설계하고 이에 따라 제진장치를 설계하기 때문에 표 2와 표 3에서 제시한 모드참여계수와 모드형상이 달라진다. 그러나 이 연구에서는 상세설계보다는 적용성 검토를 목적으로 함으로 SFRS를 재설계하여 제진장치를 배치하고 성능을 산정하지 않고, 제진장치를 적용한 구조시스템의 모드참여계수와 모드형상이 현재 설계되어 있는 공동주택의 모드참여계수와 모드형상과 유사하다고 가정하여 제진장치의 설계를 진행하였다. 이와 같은 설계가정은 초기 설계에 널리 사용되는 방식으로 비정형성이 크지 않은 구조물에 대해서는 충분한 타당성을 가지는 것이 일반적이다.

제진장치 적용성 판단의 일반화와 탄성해석을 이용한 간편 접근법을 위해 각 아파트에 제진장치를 직접적으로 배치하는 것보다는 그림 3과 같이 각 층에 수평하게 모든 층에 제진장치가 배치된 것으로 가정하였다. 이와 같이 이상화된 제진장치의 배치는 각 층별 제진장치의 기여도를 평가할 수 있기 때문에 제진장치의 기본설계에 기초자료로 유용하게 사용될 수 있다. 그러나, 이 연구에서는 제한된 아파트의 수와 탄성해석을 기반으로 했다는 점에서 설계지진(design based earthquake) 혹은 최대급(maximum considered earthquake) 지

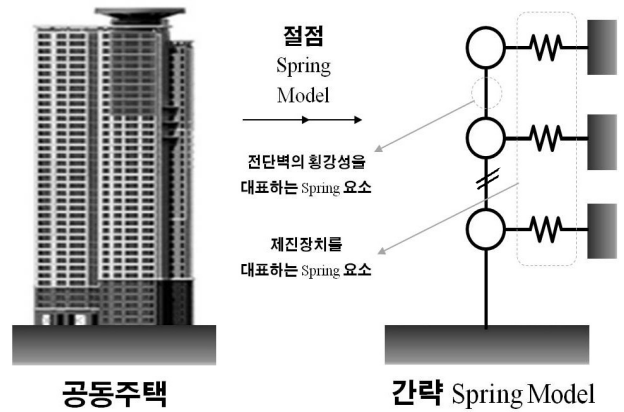


그림 3. 적용성 평가를 위한 제진장치의 이상화된 배치

진에서 비선형 거동을 할 것으로 판단되는 아파트의 제진장치 적용성 평가에 대해서는 분명한 한계가 존재함을 주지하여야 한다.

3.3 제진장치의 설계

3.1절에서 가정한 제진장치 설계의 기본사항과 표 2와 표 3에서 제시한 각 아파트의 모드참여계수와 모드형상을 바탕으로 ASCE/SEI 7-10에 따라 제진장치 설계를 수행하였다. 설계의 첫 단계로서 SFRS의 이선형 비선형거동을 반응수정계수(R), 변위증폭계수(C_d)와 초과강도계수(Ω_o)를 이용하여 계산하였다. Case 1~4에 대하여 계산된 SFRS의 항복강도, 항복변위를 포함한 비선형거동이 표 4에 정리되어 있다. 여기서, SFRS의 예상항복강도는 제진장치의 영향을 고려하여 전체 설계밀면전단력의 75%으로 설계하였을 때를 가정하여 산정한 값이다.

SFRS를 75%의 설계밀면전단력으로 설계하기 위해서는 제진시스템과 SFRS의 소성거동으로 인한 추가 등가점성감쇠비가 필요하며, 여기서는 약 10%를 적용하였다. 하지만 중요도계수 1.0의 전단벽식 건물의 경우 반응수정계수와 초과강도계수가 각각 4.5와 2.5로 최대 허용연성도는 1.6이므로 설계수준의 지진이 발생할 때 SFRS는 탄성거동 영역에 있어야 한다고 가정하면 추가 점성감쇠에 대한 SFRS의 기여도는 없기 때문에 제진장치의 이력거동으로 추가감쇠를 모두 달성하여야 한다.

표 4에 주어진 SFRS의 가정한 비선형 거동을 이용하여 제진장치를 설계함에 있어 건물의 높이(1~4층, 5~9층, 10~15층)에 따라 3종류의 제진장치를 사용하는 것으로 가정하였다. 1층부터 4층까지는 고강성 고험복하중의 제진장치를 사용하는 반면 고층부에는 저강성 저항복하중의 제진장치를 사용하도록 배치하여 모든 제진장치가 거의 동일한 항복변위(1.5~2mm)를 갖도록 계획하였다. 표 5는 각 Case별로 설계된 제진장치를 정리한 것이다.

표 4. 지진력저항시스템의 비선형거동

구 분	Case 1		Case 2		Case 3		Case 4	
	단변	장변	단변	장변	단변	장변	단변	장변
예상항복강도(kN)	12,78	10,75	10,94	14,95	6,93	5,31	14,85	12,01
지붕층 항복변위(mm)	83.1	38.4	95.4	67.9	123.3	84.4	74.9	93.75
지붕층 변위(DBE, mm)	60.0	23.0	42.0	38.0	46.0	50.0	53.0	53.0
변형에너지(kN·m)	184.6	20.3	128,9	54,8	72.1	53	188.7	121.6

표 5. 제진장치의 설계

구 분		Case 1		Case 2		Case 3		Case 4	
		단변	장변	단변	장변	단변	장변	단변	장변
항복강도 (kN)	10~15F	1,500	2,150	1,840	950	900	500	1,500	1,000
	5~9F	1,800	2,600	2,450	1,400	1,300	1,000	3,500	2,000
	1~4F	2,250	-	5,200	2,350	3,500	2,200	5,000	3,800
탄성강성 (kN/mm)	10~15F	750	1,433	968	432	500	250	681	476
	5~9F	1,000	1,857	1,531	778	764.7	500	1,591	1053
	1~4F	1,250	-	3,467	2,350	1944.4	1,100	3,333	2111
평균 연성도	10~15F	2.70	1.16	1.75	1.4	1.96	1.78	1.83	1.95
	5~9F	2.35	1.21	1.83	1.49	1.89	1.87	1.73	2.02
	1~4F	1.43	-	1.12	1.47	1.08	1.19	1.54	1.24
소산된 에너지(kN·m)		224.6	27.3	152,5	63.8	92.8	73	249.9	161
추가 감쇠비(%)		9.7	10.7	9.4	9.3	10.2	10.9	10.5	10.5

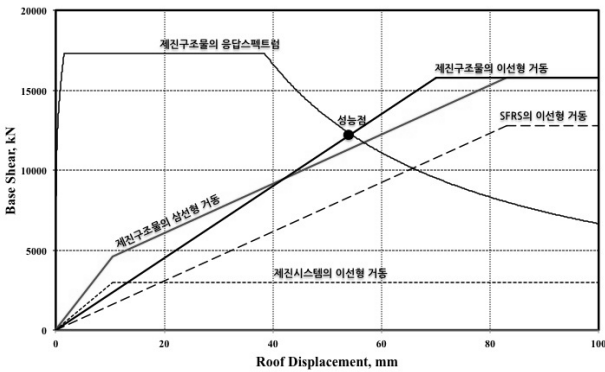


그림 4. 제진구조물 구성요소의 비선형 거동과 성능점 결정(Case 1)

그림 4는 검토결과와 한 예로서 Case 1으로 검토된 아파트 단변방향의 응답스펙트럼, SFRS의 이선형거동, 제진시스템의 이선형 거동, 제진건물의 삼선형 거동, 이상화된 제진구조물의 이선형 거동을 함께 나타낸 것으로 응답스펙트럼과 이상화된 제진건물의 이선형거동과의 교점으로 구해지는 성능점을 보여주고 있다.

표 5의 설계결과에 대하여 가장 주목되는 점은 선택된 4개의 전단벽식 아파트에 제진장치를 이용하여 내진성능을 확보하기 위해서는 탄성강성이 높은 전단벽의 영향으로 인하여 제진장치의 강성이 매우 커야 한다는 것이다. 이와 같은 높은

강성의 제진장치는 현실적으로 구현하기 매우 어렵다. 따라서 전단벽식 건물에 제진장치를 적용하여 설계하고자 할 때는 이 점에 주의하여야 하며, 강재이력형 제진장치보다는 초기 강성이 매우 큰 마찰형 제진장치가 더 효율적일 수 있다. 하지만 마찰형 제진장치를 사용하는 경우 제진장치와 SFRS를 연결하는 연결부의 강성이 매우 커야 함으로 연결부를 설계할 때 주의를 기울여야 하며, 이러한 사항은 실무적인 관점에서 또 다른 어려움으로 작용할 수 있다. 그러므로 전단벽식 아파트에 제진장치를 적용하기 위해서는 에너지소산을 이용하여 SFRS의 밀면전단력을 직접적으로 줄이기 보다는 전단벽식 아파트에 연성도를 증가시킬 수 있는 제진장치를 적용시키는 것이 더욱 현실적인 방안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

이 연구에서는 국내 아파트 건물의 주요 횡력저항시스템인 전단벽식 구조를 대상으로 제진장치의 적용 가능성을 검토해 보았다. 연구목적 달성을 위하여 ASCE/SEI 7-10 제진구조물 설계방법론을 4개의 제진장치 없이 기 설계된 전단벽식 아파트에 적용하여 내진성능 확보를 위하여 요구되는 제진장치의 성능에 대하여 조사하였다. 이 조사에서는 국내의

건설환경과 시공능력, 제진장치의 제작능력을 고려하여 강재이력형 제진장치로 한정하여 적용성을 검토하였다. 연구결과로부터 얻은 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 국내 아파트의 주된 횡력저항시스템으로 사용되는 전단벽식 구조는 초기강성은 매우 큰 반면 항복변위는 매우 낮은 것이 일반적이다. 아울러 변형능력 또한 모멘트골조에 비하여 현저히 떨어지는 것으로 알려져 있다. 따라서 현행 전단벽식 구조시스템에서 제진장치를 적용하여 제진능력을 확보하기 위해서는 초기강성이 전단벽에 비하여 월등히 크고 항복변위가 매우 작으면서 충분한 연성능력을 확보할 수 있는 제진장치가 있어야만 한다. 이 경우 요구되는 제진장치의 특성은 연구대상으로 고려된 4개의 아파트에 대한 제진장치 적용성 검토에서 확인할 수 있다. 하지만 현실적으로 이를 만족할 수 있는 제진장치의 설계가 쉽지 않음으로 벽량이 많은 전단벽식 건물의 경우 강재이력형 제진장치의 적용에 한계가 있는 것으로 판단된다.

(2) 이 연구에서 고려된 바와 같이 대체적으로 벽량이 많은 4개의 아파트와 성격이 다른 일반적인 벽식아파트의 제진장치 적용에 대해서는 보다 세밀한 연구가 필요하다. 특히 설계지진이 발생할 때 비선형 거동을 하는 건물의 특성상 이 연구에서 선택한 강도기반 설계절차만으로는 제진장치를 가진 아파트의 거동을 명확하게 파악할 수는 없기 때문에 이러한 절차는 기본설계 단계의 검토로서 사용되는 것이 바람직하며, 다양한 특성을 지닌 전단벽식 아파트의 제진장치 적용성 평가를 위해서는 비선형해석을 수반한 정밀해석이 필요할 것으로 판단된다.

(3) 전단벽식 아파트에서 제진장치를 이용하여 직접적으로 지진으로 인한 진동에너지를 소산시켜 내진성능을 향상시키는 방법은 전단벽식 구조의 특성상 매우 제한적이므로, 제진장치를 이용하여 전단벽의 변형능력을 향상시키는 기술, 즉

건물의 설계측면에서 본다면 전단벽의 캔틸레버식 횡력저항 방식을 모멘트 골조형식의 횡력저항 방식으로 변형시키는 기술개발이 이루어진다면 제진장치를 적용한 아파트에 대한 적용성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 LH의 연구비 지원으로 수행된 “내진성능 향상을 위한 공동주택 제진구조시스템 개발(1)-공동주택의 제진구조 도입방안 연구(천영수, 박지영, 2012)” 과제의 연구내용 중 일부를 정리한 것이며, 자문해 주신 서울시립대학교 김형준 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

1. 대한건축학회(2009), 「건축구조기준(KBC2009)」, 국토해양부 고시 제 2009-1245호.
2. 안태상(2008), “제진구조의 최근 적용사례 및 효과”, 「내진성능 향상을 위한 면진제진구조 적용기술에 관한 국제세미나 발표집」, Lec. 1.
3. 김종호(2012), “국내 아파트 제진장치 사용에 대한 주의점”, 「건축구조」, 1·2월, 19(1): 42~48.
4. ASCE/SEI 7 (2010), *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, ASCE/SEI 7-10, American Society of Civil Engineering, U.S.A.: 179~197.
5. Chopra, A. K. (2007), *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, Prentice Hall, New Jersey, U.S.A.
6. Christopoulos, C. and A. Filiatrault (2006), *Principles of Passive Supplemental Damping and Seismic Isolation*, IUSS Press, Pavia, Italy.