

쉬어키를 가진 면진건축물의 동적해석

Dynamic Analysis for Base Isolated Structure with Shear Keys

한 덕 전*
Han, Duck-Jeon

김 태 호**
Kim, Tae-Ho

요 약

지진 다발 지역인 일본에서 최근 초고층 건축물에 전단키를 갖는 면진 구조물에 많이 건설되고 있으며 초고층 건축물은 중저층 건축물과 비교하여 고유진동주수가 크기 때문에 지진하중이 작아 지진에 대한 피해가 적다. 지진에 의하여 큰 전단력이 발생할 경우에 전단키를 갖는 면진장치의 전단키는 파괴되고 면진장치가 지진에 거동하게 되며 만약에 풍하중이 지진하중보다 크다면 전단키를 지진하중에 대하여 설계하는 것이 아니라 풍하중에 의하여 설계하여야 한다. 중진지역인 한국에서도 면진 건축물에 있어서 전단키의 필요성 요구되며 이에 대한 검증이 필요한 실정이다. 본 논문에서는 5층과 15층 면진 건축물에 대하여 전단키를 적용하고 지진해석을 실시하여 그 거동을 비교분석, 면진 건축물에 대한 전단키의 필요성을 알아보았다.

Abstract

Recently, high-rise base isolated building structures with shear keys are often constructed in Japan which frequently occurs earthquakes. High-rise buildings are less damaged because those buildings have longer natural period than mid or low rise buildings. The shear key is device that prevents the base isolators operating by the wind loads not by the earthquake loads. In case of big base shear force acts on the shear keys by earthquake, this device is broken and base isolator is operated. Therefore, seismic intensities play a role in acting on the shear keys. If wind loads are higher than the earthquake loads, the shear keys designed by wind loads are not operated in earthquakes. So, the requirements of shear keys in high-rise base isolated building structures must be examined in Korea with moderate seismic regions. In this study, shear keys are applied with 5 and 15 stories base isolated building structures and investigated their dynamic responses to original and 1/2 scale downed El Centro NS(1940) ground motions. The results show that the yield shear forces of the shear keys affect significantly the dynamic behavior of base isolated building structures

키워드 : 면진, 내진설계, 쉬어키

Keywords : Base Isolation, Earthquake Resistant Design, Shear Key

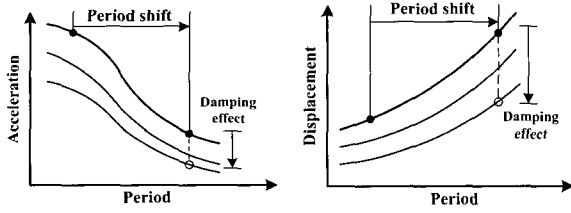
1. 서 론

지진이 발생하여 건물에 지진하중이 가해지면 급격한 지반운동에 의하여 건물은 피해를 입게 된다. 멕시코 지진과 같이 지반이 매우 연약한 경우를 제외하면 일반적인 경우에 지진에너지는 진동주기가 짧은 영역에 집중되어 있으므로 중·저층 건물의 피해가 고층건물의 피해보다 더 크게 발생할 위험이

있다. 이러한 중·저층 건물은 지진에 의한 지반운동이 증폭됨에 따라 각 층에서의 가속도는 상부층으로 올라갈수록 커지게 된다. 이렇게 증폭된 가속도는 건물골조의 응력을 증가시키고 과도한 층간변위를 유발시켜 건물이 구조적인 파괴 상태에 이르지 않더라도 건물내의 사람이나 시설물 등에 심각한 피해를 입히게 된다. 따라서 중·저층 건물의 피해를 줄이기 위해서는 건물 내의 가속도를 감소시켜야 한다. 가속도를 줄이기 위하여 <그림 1(a)>의 가속도 응답스펙트럼에서도 알 수 있듯이 건물의 기본 진동주기를 길게 하여 구조물에 전달되는 횡

* 서울대학 건축과 교수

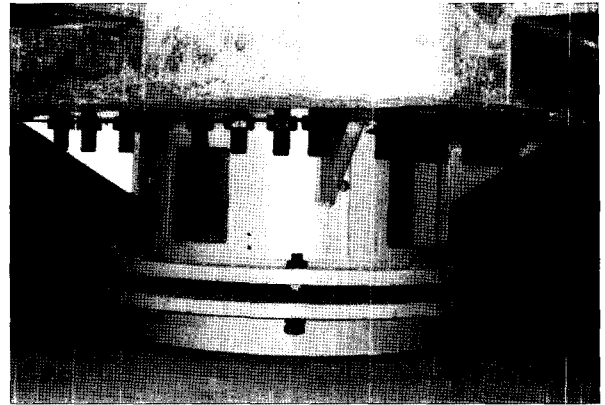
** 성균관대학교 건축과 박사후 연구원
Tel : 02-490-7430 Fax : 02-490-7427
Email : Djhan30@seoil.ac.kr



(a) 가속도 응답스펙트럼 (b) 변위 응답스펙트럼
 <그림 1> 지진하중에 대한 면진시스템의 효과

하중을 감소시켜야 한다. 하지만 건물의 주기가 길어지면 <그림 1(b)>와 같이 건물이 유연(flexibility)하게 되며 층간변위가 커지므로 창문이 깨어지거나 내벽에 균열이 발생하는 등 비구조재의 피해가 커진다. 따라서 건물의 층간변위를 작게 하면서 건물내의 가속도를 줄일 수 있는 방법이 필요하게 된다. 이러한 목적에서 개발된 것이 면진장치이다. 즉, 면진장치의 기본개념은 건물의 연직방향의 하중을 지지하면서 지반의 운동을 건물의 기초 밑에서 허용한다는 것이다.

앞서 언급한 바와 같이 면진은 주기를 길게 하여 지진하중을 줄이는 것이 특징이어서 상부구조물의 주기가 대체로 1초 이내의 경우에 많이 사용되었다. 고층 건물의 경우에는 주기가 긴 경우가 많아서 면진구조의 장점이 별로 없어 사용되지 않았었다. 하지만 최근 지진이 많은 일본이나 미국 등지에서는 20층 이상의 건물에도 면진기술을 도입하기 시작하였다. 이는 고층건물에서도 면진기술이 지진하중을 여전히 줄여줄 수 있다는 생각에 근거하고 있다. 하지만 고층 건물의 특성상 풍하중에 영향을 많이 받기 때문에 면진장치의 수평강성이 작을 경우에는 풍하중에도 면진장치가 작동하는 경우가 생긴다. 이에 풍하중에 저항하고 지진에 대해서만 작동하는 시스템이 요구되었다. 이러한 목적으로 많이 사용되는 시스템이 납삼입 면진받침이다. 납면진받침은 우수한 에너지 소산능력과 큰 초기강성으로 풍하중에 저항하는 시스템이다. 그리고 또 다른 장치로는 <그림 2>와 같은 shear key를 이용하는 것이다. 이 장치는 납과 같이 항복하중이 큰 재료를 면진층에 두어 풍하중 등과 같은 하중에는 저항하고 대신에 지진과 같이 큰 하중이 작용할 경우에는 항복하여 기능을 잃게 되고 이에 따라 면진장치가 작동하도록



<그림 2> shear key의 예

하는 원리이다. 이 경우에는 탄성받침을 사용할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 저층 및 고층건물에 면진장치를 적용할 경우에 대하여 shear key의 적용성을 검토하여 보았다.

2. 면진구조물의 설계

현재 국내에는 면진구조물에 대한 설계기준은 제시되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 UBC 97에 제시된 면진설계코드에 준하여 다음과 같은 방식으로 예제를 설계하였다.

- 1) 구조물의 설계에 필요한 제 계수의 결정 · 지반계수, 지역계수, 반응수정계수 등
- 2) 설계조건에 따른 면진구조물의 주기, 강성 산정
- 3) 기둥의 축하중에 따른 면진장치의 강성분배
- 4) 면진장치의 유형결정 및 그에 따른 면진장치 설계
 - 면진장치의 단면적 결정
 - 고무층의 두께 및 개수 결정
 - 면진장치의 안전성(유효면적, 좌굴 등) 검토
 - 철판두께 결정
 - 납의 크기 결정
- 5) 최소 설계 횡하중 산정

$$V_b = K_{D_{max}} D_D \text{ (면진장치 및 하부구조설계용)} \tag{1}$$

$$V_s = \frac{K_{D_{max}} D_D}{R_I} \text{ (상부구조설계용)} \tag{2}$$

- 면진구조물의 주기를 가지는 고정기초구조

물의 밀면전단력보다 클 것

- 최소한 면진장치의 항복하중보다 클 것(면진장치가 지진에 작동하여야 함)

- 풍하중보다는 클 것

6) 상부구조물의 예비설계

7) 면진구조물의 해석

- 면진장치해석모델 결정
- 상부구조물 모형화
- 지진해석 방법 결정

8) 면진장치의 목표변위, 유효주기, 유효강성, 감쇠 등의 검증

9) 면진장치 제작 및 성능 검증

예제 구조물에 작용하는 풍하중 및 지진하중에 의한 밀면전단력은 건축물하중기준(2005)을 통하여 설계하였다. 예제 구조물의 형상은 <그림 3>과 같다. 예제 구조물에 작용하는 하중은 <표 1>과 같다. 기둥과 보의 크기는 해석의 편의를 위하여 두 모델 모두 각각 80×80, 30×50으로 하였고 <그림 3>에 나타낸 바와 같다. 그리고 5, 15층 구조물의 고정 기초 및 면진 기초에 대한 고유주기 및 질량참여율은 <표 2>에 나타내었다.

<표 2>에 나타낸 주기를 살펴보면 가정된 면진주기가 원래 2.0초, 4.5초였으나 상부구조물의 영향에 따라 목표주기보다는 약간 긴 것으로 나타났다. 질량참여율은 면진구조물의 특징을 잘 나타내고 있는데 고정기초구조물의 경우에 두 구조물 모두가 70% 내외의 1차모드 질량참여율을 가지고 있는데 반하

<표 1> 예제 구조물의 적용하중

종 류	하 중
고정하중	500kgf/m ²
적재하중	300kgf/m ²
풍하중	- 노풍도 : B - 기본풍속 : 30m/s - 중요도계수 : 1.0 - Gust Factor : 2.2
지진하중	- 지반조건 : SB - 지진지역 : 1 - 중요도계수 : 1

<표 2> 예제 구조물의 주기 및 질량참여율

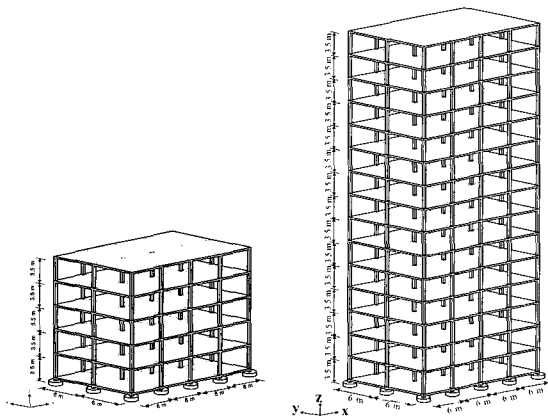
Case	모드	고정기초			면진기초		
		주기(초)	질량참여율		주기	질량참여율	
			X	Y		X	Y
5층	1	0.60	0.00	70.65	2.05	0.00	99.84
	2	0.55	70.82	0.00	2.04	99.89	0.00
	3	0.25	0.00	0.00	1.27	0.00	0.00
	4	0.12	0.00	10.06	0.36	0.00	0.18
	5	0.06	9.87	0.00	0.31	0.12	0.00
15층	1	1.89	0.00	76.65	4.93	0.00	99.62
	2	1.71	76.84	0.00	4.88	99.73	0.00
	3	0.65	0.00	0.00	2.66	0.00	0.00
	4	0.57	0.00	9.13	0.94	0.00	0.36
	5	0.51	9.09	0.00	0.85	0.25	0.00

<표 3> 예제구조물의 밀면전단력(정적해석)

Case	방향	밀면전단력	
		풍하중	지진하중
5층	장변	42tf	89tf
	단변	20tf	
15층	장변	190tf	239tf
	단변	87tf	

여 면진구조물은 1차모드 질량 참여율이 99%정도로 완전히 구조물의 거동을 지배할 것을 예상할 수 있다. 고정기초구조물의 경우에는 장변과 단변의 강성차이로 각 방향의 주기가 약간씩 차이가 나는데 반하여 면진구조물의 경우는 양방향이 거의 동일한 주기를 가짐을 알 수 있다.

설계시 고려되는 지진하중은 모두 구조물의 반응수정계수가 적용되어 줄어든 하중을 의미한다. 따라서 반응수정계수를 무시한 순수한 하중에 의한 밀면전단력을 산정하여야 적절한 비교가 될 수 있다.



(a) 5층 예제 모델

(b) 15층 예제 모델

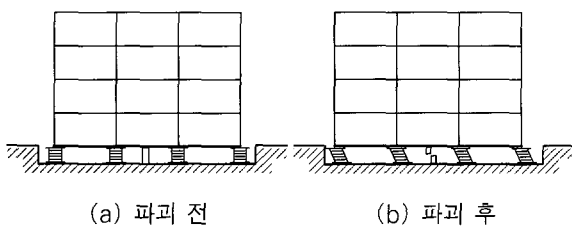
<그림 3> 예제 구조물

다음 <표 3>은 <표 1>에 제시된 하중조건을 이용하여 구한 풍하중과 반응수정계수를 무시한 지진하중에 의한 밀면전단력이다. 표에 제시된 값을 살펴보면 풍하중에 의한 밀면전단력보다 지진에 의한 밀면전단력이 더 크기 때문에 shear key를 설치할 경우 면진장치가 작동할 것으로 예상된다. 15층의 경우에는 예제구조물의 장변방향으로는 풍하중에 의한 밀면전단력이 지진하중에 의한 밀면전단력과 비교할 때 80%정도로 적지 않은 것으로 평가되었다. 이는 풍하중에 대하여 면진장치가 거동하지 않도록 쉬어키를 설치할 경우에 지진의 크기에 따라서 쉬어키가 항복하지 않을 수 있음을 의미하고 이 경우에는 면진장치를 설치하였음에도 고정기초구조물과 비슷한 거동을 보이게 된다. 앞서 나타낸 최소 설계 횡하중 산정기준을 보더라도 풍하중보다는 클 것을 요구하는데 만약 이를 만족하기 위하여 shear key의 항복하중을 높일 경우에는 면진장치가 작동하지 않을 가능성이 크게 된다.

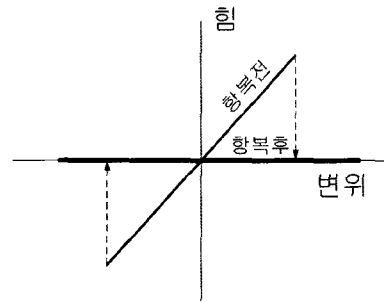
3. Shear key를 가진 건축물의 동적해석

3.1 Shear key의 해석모형

풍하중과 같은 상시하중에 대하여 저항하기 위한 shear key를 가진 면진건축물을 모델링하기 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 2가지 거동패턴을 가지는 것으로 가정하였다. <그림 4(a)>에 나타낸 바와 같이 shear key가 파괴되지 않았을 경우와 <그림 4(b)>의 shear key가 파괴되어 면진장치가 작동하는 경우로 크게 면진구조물의 거동을 구분하였으며 shear key는 항복하기 전에는 선형거동을 하다가 일단 항복하중에 도달한 후에는 외부하중에 대하여 전혀 저항하지 못하는 것으로 <그림 5>와 같이 모형화하였다.



<그림 4> Shear key의 거동



<그림 5> Shear key의 이력모델

3.2 Shear key를 가진 건축물의 동적해석

Shear key를 가진 면진건축물은 등가정적해석이나 응답스펙트럼 해석으로는 그 거동을 정확하게 평가할 수 없다. 이것은 선형장치처럼 거동하는 Shear key가 항복함으로써 갑자기 다른 면진장치에 지진하중이 추가로 부담되는 현상을 표현할 수 없기 때문이다. 그리고 현재 상용화 되어 있는 구조해석프로그램에서는 이러한 거동을 표현할 수 있는 이력모델도 찾을 수 없었다. 이력모델이 존재하지 않는 이유는 부가장치의 특성상 shear key는 단지 풍하중에 대한 제어 목적으로 사용되는 것이기 때문에 지진해석에서는 모델링에 고려하지 않기 때문이다. 실제로 전체적인 변위응답 등을 검토할 때에는 큰 차이를 보이지 않을 것으로 예상되지만 shear key의 항복직후 발생하는 면진장치의 갑작스런 하중증가에 대하여 면진장치와 건축물에 발생하는 가속도응답은 순간적으로 증가할 것으로 예상되며 이것은 건축물의 사용성에 문제를 일으킬 수 있다. 면진장치와 쉬어키를 포함한 구조물의 운동방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$M\ddot{D} + C\dot{D} + KD = A \tag{3}$$

여기서 M, C, K는 각각 구조물의 질량, 감쇠, 강성 행렬이며 A는 하중벡터이다. 각각은 다음과 같은 형태의 식으로 구성된다.

$$M = M_M + M_B + M_S \tag{4}$$

$$K = K_M + K_B + K_S \tag{5}$$

$$C = C_M + C_B + C_S \quad (6)$$

여기서 침자 M과 B 및 S는 각각 구조물과 면진 장치 및 쉬어키를 의미한다. 감쇠행렬 CM은 Rayleigh감쇠를 이용하여 구한 것으로 일반적으로 다음과 같이 표현된다.

$$C_M = \alpha_M M_M + \beta_M K_M \quad (7)$$

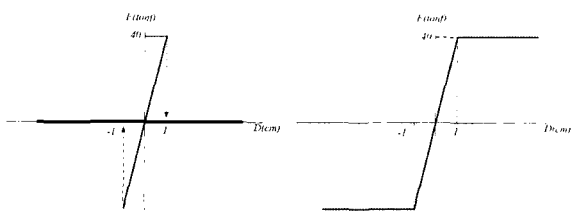
여기서 α 와 β 는 두 개의 모드 감쇠비로부터 결정되며 본 연구에서는 1, 2차 모드의 감쇠비를 이용하였다. 각 모드의 감쇠비(γ_i , i 는 모드번호)와 상수 α , β 의 관계는 다음과 같다.

$$\gamma_i = \frac{\alpha + \beta \omega_i^2}{2\omega_i} \quad (8)$$

쉬어키를 가진 건축물의 동적해석에는 쉬어키의 항복전후 거동을 표현하기 위하여 뉴마크 베타법이 사용되었다. 일반적으로 항복시의 거동을 판단하기 위한 방법은 항복변위를 기준으로 하거나 항복강도를 기준으로 하는 것인데 본 연구에서는 항복강도를 기준으로 하였다. 이것은 변위를 기준으로 할 경우에는 <그림 6>에서 보는 바와 같이 거동이 연속된 것으로 가정되어 잔류하중이 남게 되는 문제를 가지기 때문이다. 따라서 변화된 강성을 통하여 가속도응답을 얻는 식 (9)을 사용하였다.

$$\ddot{D} = M^{-1}(A - CD - KD) \quad (9)$$

3.3 Shear key를 가진 면진장치의 동적거동



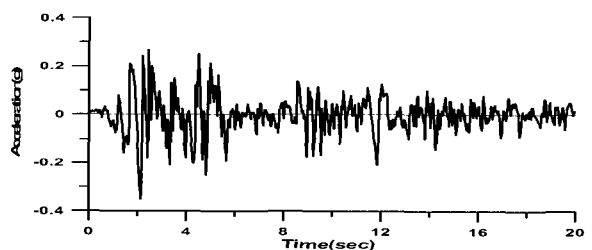
(a) 쉬어키 모델 (b) 이선형 모델

<그림 6> 예제구조물의 이력모델

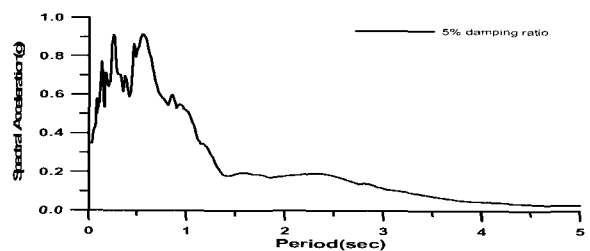
제안된 쉬어키의 이력특성이 구현된 구조해석프로그램이 존재하지 않는 관계로 본 연구에서는 두 가지 해석모델에 관하여 살펴보았다. 첫 번째 모델은 한개의 쉬어키와 나머지는 모두 적층고무받침이 설치되는 것으로 가정한 것이다.

쉬어키의 항복하중은 40tonf이며 선형면진장치의 강성은 0.163tonf/cm이다. 두 번째 해석모델은 한개의 납면진받침에 다른 면진장치는 모두 선형면진장치를 적용한 경우이다. 납의 항복하중은 쉬어키의 것과 동일하며 항복 후 강성은 거의 없는 것으로 가정하였고 선형면진장치는 첫 번째 모델의 것과 같은 것을 사용하였다. 예제 구조물은 그림 3(a)의 것을 이용하였으며 이력모델은 <그림 6>에 나타내었으며 이 해석모델들에 적용한 지반가속도는 <그림 7>의 El Centro NS(1940)이다.

쉬어키를 포함한 선형 면진장치와 이선형 면진장치의 거동을 살펴보면 쉬어키와 이선형 면진장치의 항복이전까지의 거동(1.5초부근)은 동일하다는 것을 그림 8을 통하여 알 수 있다. 항복 후에는 쉬어키를 적용한 모델의 경우에 순간적으로 큰 가속도 응답을 발생시키는 것을 확인 할 수 있었으며 변위응답은 항복 후에 이선형 모델에 비하여 큰 변위를 발생시키는 것을 알 수 있다. 이것은 이선형 면진장치의 경우에 항복하중 이하의 힘이 발생할 경우에는 초

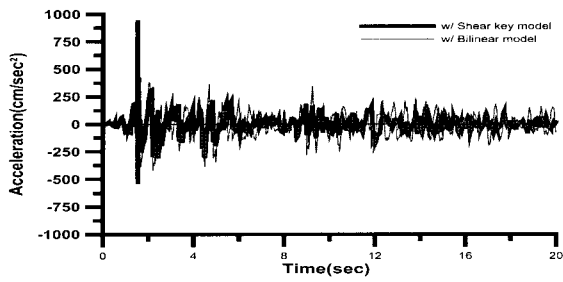


(a) El Centro NS(1940) 지진의 시간이력

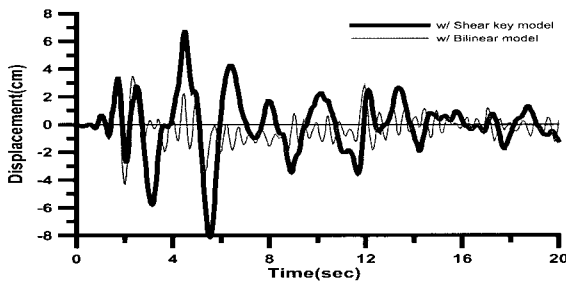


(b) 지진의 응답스펙트럼

<그림 7> 해석에 사용된 지진 가속도

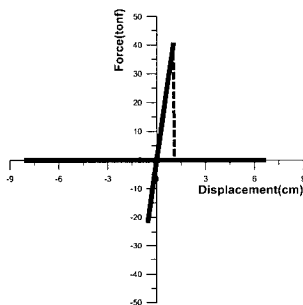


(a) 가속도 응답

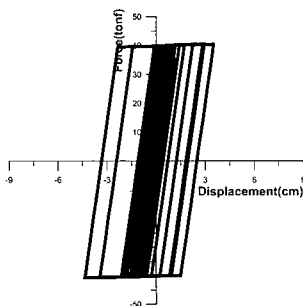


(b) 변위 응답

<그림 8> 예제 면진장치의 응답(EI Centro NS)



(a) shear key 모델



(b) 이선형 모델

<그림 9> 예제 면진장치의 이력거동(EI Centro NS)

기 강성을 회복하는 반면에 쉬어키 모델은 항복 하중 이하의 힘을 받아도 다시 강성을 회복하지 못하고 쉬어키를 제외한 나머지 선형면진장치 만으로 거동하기 때문이다. 이것은 <그림 9>에 나타난 쉬

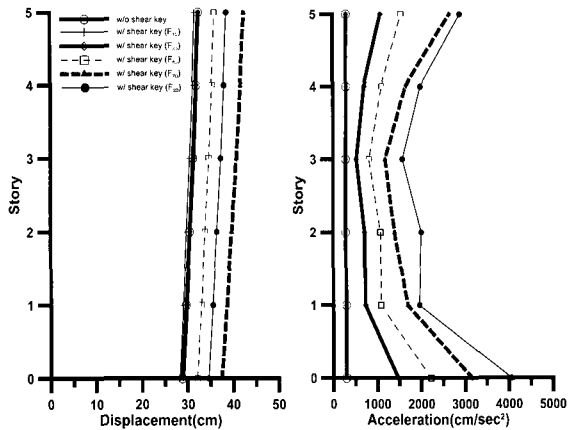
어키 해석모델이 항복 후에는 전혀 강성이 없음을 통하여 다시 한번 확인 할 수 있다.

4. 예제해석

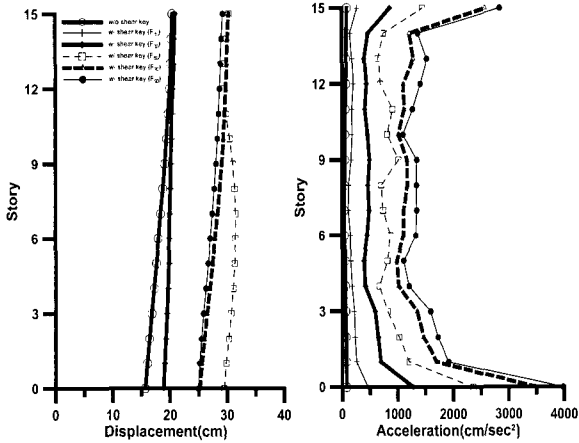
예제 구조물들(5층, 15층)에 대하여 쉬어키를 가진 면진층을 설계하였다. 본 논문에서는 두 가지 방향에 대하여 연구를 진행하였다. 한 가지는 쉬어키의 항복하중이 구조물에 미치는 영향이며 다른 한 가지는 건축물의 높이에 따른 쉬어키의 영향을 검토하는 것이다. 마지막으로 쉬어키에 의하여 면진장치가 작동하지 않을 정도의 지진이 작용할 경우에 대한 응답을 분석하였다. 해석에 사용한 지진하중은 EI Centro NS(1940)이며 이것은 <그림 7>에 이미 나타내었다.

쉬어키의 항복하중이 미치는 영향을 검토하기 위하여 먼저 두 구조물에 지진하중을 적용한 후 제한된 변위(1cm 이하)에서 쉬어키가 항복하지 않을 전단력을 구하였다. 이 지진에 대하여 산정된 쉬어키가 항복하지 않을 전단력은 5층 및 15층 예제 구조물의 경우에 대하여 모두 175tonf/cm 정도로 평가되었다. 각각의 조건에 대하여 쉬어키의 항복 전단력을 산정된 값의 10%(F_{10}), 30%(F_{30}), 50%(F_{50}), 70%(F_{70}), 90%(F_{90})로 변화시키면서 응답을 검토하였고 괄호 안의 기호는 모델명을 의미한다. <그림 10>은 두 구조물에 발생하는 최대응답을 나타낸 것이다. 최대변위응답을 살펴보면 면진장치의 변위응답이 쉬어키의 항복 전단력의 크기에 따라 변화하는 것을 볼 수 있다. F_{50} 이상의 쉬어키를 사용한 경우에는 쉬어키의 파괴에 따른 관성력의 증가로 변위응답이 크게 증가하는 것도 확인 할 수 있다. 이것은 <그림 12>의 면진층 및 지붕층의 변위 응답을 통하여 확인할 수 있다. 가속도응답은 선형면진장치만 사용하는 경우에 비하여 F_{90} 의 경우에는 면진층에서 10배 이상 크게 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 15층 건축물에서도 동일하게 관찰되었다.

건물의 높이에 따른 응답은 면진효과에 의하여 큰 차이가 없는 것으로 관찰되었다. 다만 지진하중에 직접적으로 영향을 미치는 가속도응답의 경우를 살펴보면 15층 구조물이 5층 구조물에 비하여 쉬어키



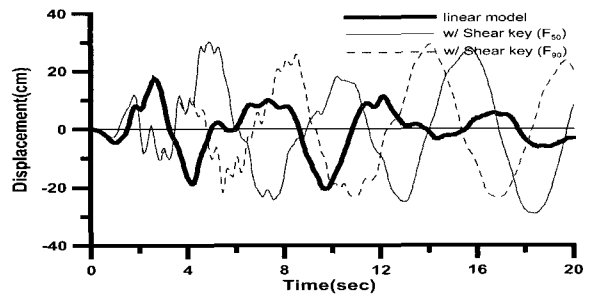
(a) 최대변위응답 (b) 최대가속도응답
 <그림 10> 5층 예제 구조물의 최대응답



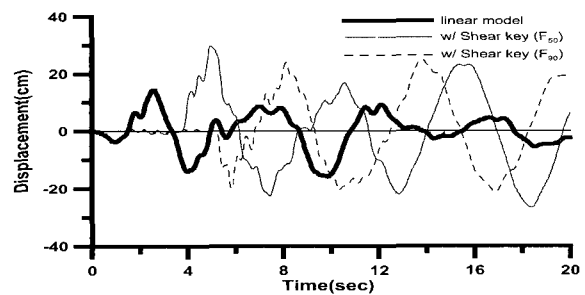
(a) 최대변위응답 (b) 최대가속도응답
 <그림 11> 15층 예제 구조물의 최대응답

의 항복전단력이 커지면 커질수록 면진층과 최상층에서 다른 중간층들에 비하여 현저히 큰 가속도응답을 보이는 것으로 나타났다. 이것은 <그림 12(a)>의 F90모델의 경우에서 보는 바와 같이 순간적인 가속도응답에 의한 것으로 <그림 12(b)>의 면진층의 응답에서도 동일한 거동이 관찰된다. 이 순간적인 가속도응답은 쉬어키가 항복하는 시점에 발생하는 것임을 <그림 12>와 <그림 13>을 통하여 알 수 있다.

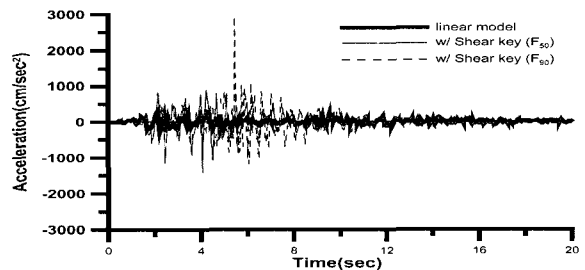
해석결과를 통하여 볼 때 면진층에 쉬어키를 설치하는 것은 면진거동에 큰 영향을 미치는 것으로 보이지는 않는다. 다만 쉬어키 파괴에 따른 관성력으로 인하여 면진층에 상대적으로 큰 변위가 발생하며 면진장치 설계시 이에 대한 주의가 요구된다.



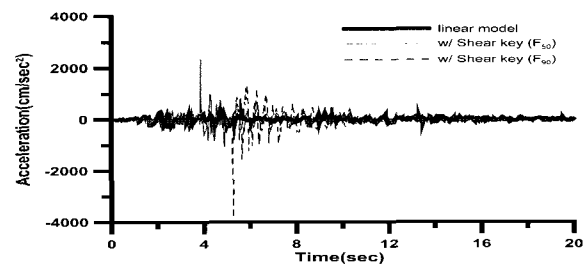
(a) 지붕층 시간이력



(b) 면진층 시간이력
 <그림 12> 5층 예제 구조물의 변위응답



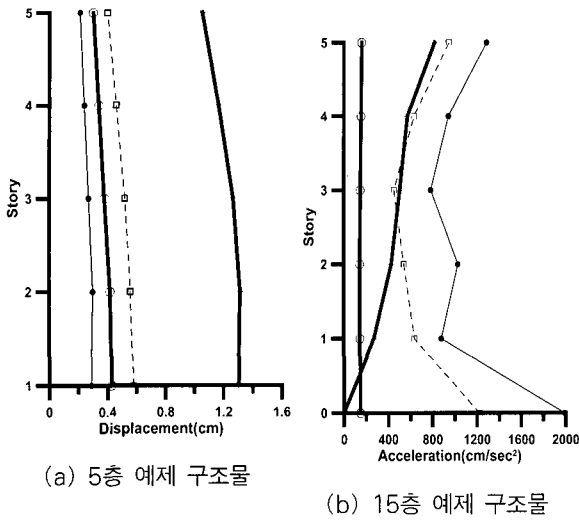
(a) 지붕층 시간이력



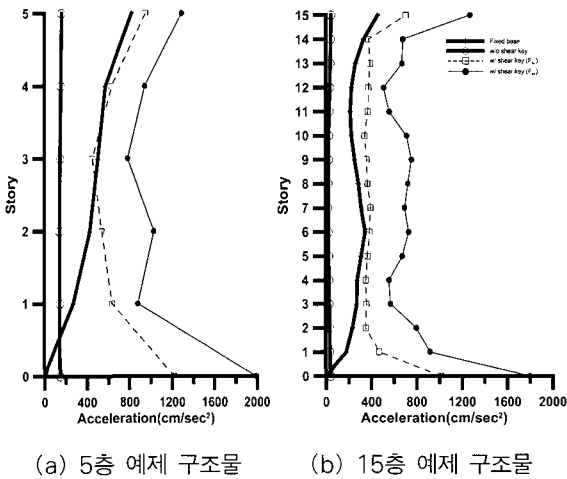
(b) 면진층 시간이력

<그림 13> 15층 예제 구조물의 가속도응답

지금까지는 지진하중이 클 경우에 대하여 응답을 확인하여 보았다. 국내와 같은 중약진 지역에서는 El Centro 지진과 같은 큰 지진보다는 더 작은 지진

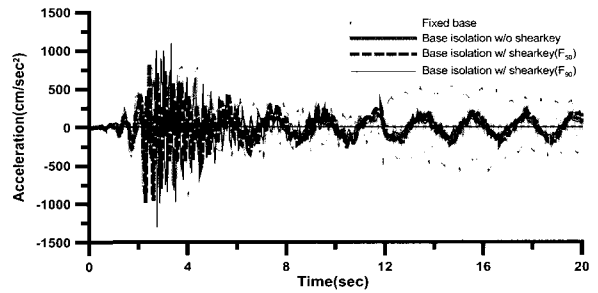
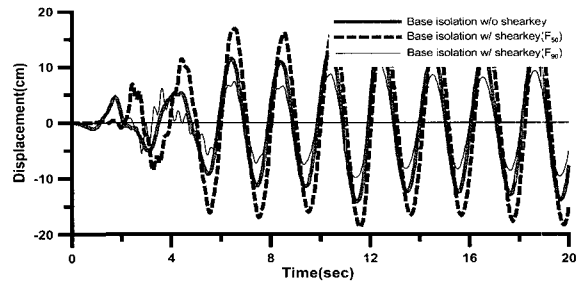


<그림 14> 1/2 축소된 El Centro 지진에 대한 층간변위



<그림 15> 1/2 축소된 El Centro 지진에 대한 최대가속도응답

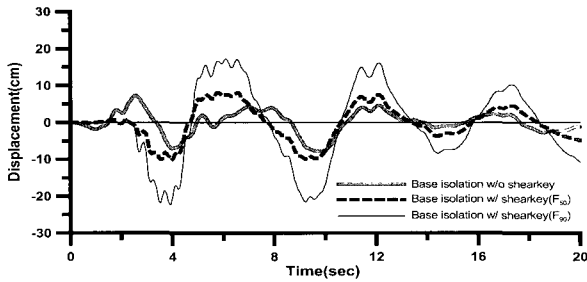
이 올 가능성이 높다. 지금부터는 동일한 예제 구조물에 대하여 1/2 크기로 조정된 El Centro 지진에 대하여 해석을 수행하였다. 쉬어키의 항복전단력은 쉬어키가 파괴되지 않을 전단력(87.5tonf)의 50%와 90%로 가정하였으며 선형 면진 구조물과 고정기초 구조물의 응답과 비교하였다. <그림 14>는 5층, 15층 구조물의 최대층간변위를 나타낸 것으로 5층의 경우에는 쉬어키의 항복 전단력이 커짐에 따라 층간변위가 증가하기는 하지만 면진시키지 않은 구조물의 층간변위에 비하여 현저히 작은 응답을 보임을 알 수 있다. 그러나 15층 예제 구조물의 경우에는 쉬어키의 항복 전단력이 커짐에 따라 최상층부



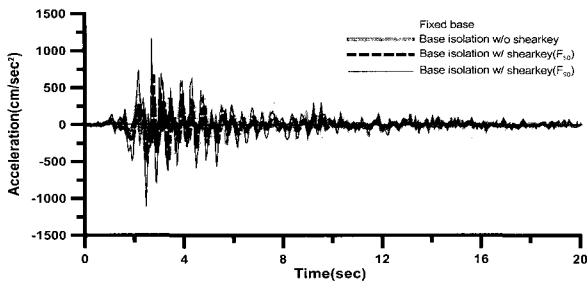
<그림 16> 1/2 축소된 El Centro 지진에 대한 5층 예제 구조물의 시간이력응답

의 층간변위가 증가하는 것으로 파악되었고 F_{90} 모델의 경우에는 최상층 부분에서 면진시키지 않은 경우에 비하여 오히려 더 큰 층간변위를 나타내는 것을 알 수 있다. 이것은 <그림 15>에 나타낸 최대가속도 응답을 통하여 예상할 수 있다. 즉 5층 예제에 비하여 15층 구조물의 경우에 항복 전단력이 커질수록 면진층과 최상층에 가속도응답이 커지고 이것은 면진층 상부구조물이 1층 부분과 15층 부분에 큰 지진하중을 받는 것을 의미한다. 이때 발생하는 최대 가속도 응답들은 대부분 쉬어키가 항복할 때 발생하는 것으로 이 시점에 발생하는 관성력이 무시하지 못할 수준의 것임을 의미한다. 이것은 예상한 풍하중 수준의 지진이 작용하였을 경우에는 오히려 고정기초의 경우보다 큰 응답을 나타낼 것으로 추론할 수 있다.

두 예제 구조물에 대하여 면진층의 변위와 최상층의 가속도응답을 <그림 15, 16>에 나타내었다. 변위 응답의 경우에는 5층의 경우에는 F_{50} 이 15층의 경우에는 F_{90} 모델이 더 큰 변위를 나타내었다. 이것은 쉬어키가 항복하는 시점과 관련이 있는 것으로 보이며 5층의 경우에는 F_{50} 모델의 쉬어키 항복 시점이



(a) 면진층의 변위응답



(b) 지붕층의 가속도응답

<그림 17> 1/2 축소된 El Centro 지진에 대한 15층 예제 구조물의 시간이력응답

2.24초이고 F_{90} 의 경우는 2.66초로 나타났다. 그림 7의 지반가속도 기록과 비교해보면 F_{50} 의 경우에는 항복 후에도 큰 지반 가속도가 계속 작용하여 큰 변위를 발생시킨 반면에 F_{90} 의 경우에는 그렇지 않아서 상대적으로 적은 변위를 나타낸 것으로 생각된다.

또한 항복시점에 발생하는 최대가속도응답이 저층인 5층의 경우는 F_{50} 이 F_{90} 의 75%정도인 반면에 15층 예제의 경우에는 거의 절반밖에 되지 않은 것도 하나의 이유로 생각된다. 반면에 가속도응답의 경우에는 <그림 15>와 <그림 16> 모두 일관되게 F_{90} 모델이 큰 것을 알 수 있는데 이것은 항복전단력이 큰 F_{90} 이 항복시 큰 관성력을 발생시키기 때문으로 파악된다.

5. 결 론

본 연구에서는 저층 및 고층건물에 면진장치를 적용할 경우에 대하여 shear key의 적용성을 검토하여 보았으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 면진층에 쉬어키를 설치하는 것은 면진거동 자체에는 큰 영향을 미치는 것으로 보이지는

않는다. 다만 쉬어키 파괴에 따른 관성력으로 인하여 면진층에 상대적으로 큰 변위가 발생하며 면진장치 설계시 이에 대한 주의가 요구된다.

- (2) 가정한 풍하중 정도의 지진하중이 건축물에 작용할 경우에는 경우에 따라서 고정기초 구조물에 비하여 더 큰 층간변위를 발생시킬 수도 있다. 이에 따라서 쉬어키를 사용하는 경우에는 사용성의 측면에서 충분한 여유를 두어 구조물을 설계해야할 것으로 생각된다.
- (3) 쉬어키의 파괴에 따른 관성력의 영향으로 면진구조물 상부에는 고정기초의 경우에 발생하는 지진하중보다 더 큰 지진하중이 발생할 수 있으며 이에 대한 주의가 요구된다.

감사의 글

본 논문은 2005년도 서일대학 학술연구비에 의해 연구되었음.

참고문헌

1. Int. Conf. of Building Officials, "Earthquake Regulations for Seismic Isolated Structures", Uniform Building Code, Appendix Chapter 26, 1997
2. Int. Conf. of Building Officials, "Earthquake Regulations for Seismic Isolated Structures", Uniform Building Code, Chapter 23, 1991.
3. ATC3-06 "Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings," Applied Technology Council, 1978
4. 대한건축학회, 건축구조설계기준, 2005
5. R. Ivan Skinner & William H. Robinson, "An Introduction to Seismic Isolation", John Wiley & Sons, 1992