Hybrid-type 면진장치를 이용한 성능설계 개념의 적용

Application of Performance Based Design Concept using Hybrid-type Base-Isolation System

천 영 수* 황 기 태** 임 종 만***
Chun, Young Soo Whang, Ki Tea Rim, Jong Man

Abstract

Now for the first time in Korea pilot project on application of base isolation system to the RC building is carrying out by collaboration with KNHC and DRB dongil. The hybrid-type base isolation system, which is composed of sliding bearings and laminated rubber bearings and can make the resonance period of base isolated buildings comparatively long up to 4 or 5 seconds, is applied to this building. In this paper the overview of this project, the dynamic characteristics of this particular building and the response reduction effect against earthquakes are presented.

1. 서론

고성능 내진기술 및 건물의 장수명화 전략의 일환으로 건물의 면진 기술기반 구축을 목적으로 한 중·장기적인 프로젝트가 국내에서는 처음으로 대한주택공사에 의해 진행 중이다. 기 완료된 1차년도 연구에서는 대한건축학회 및 DRB동일과 손잡고 면진기술의 실무적용을 위한 설계지침이 개발되었으며, 순수 국내 기술에 의한 면진시스템 도입에 따른 효과가 진동대 실험을 통해 검증되었다[1]. 현재 진행 중인 2차년도 연구에서는 DRB동일의 지원으로 면진기술의 현장적용에 따른 문제점 파악과 구체적인 설계·시공기술의 확보를 위해 2층 규모 RC 건물을 대상으로 시험시공을 추진 중이다.

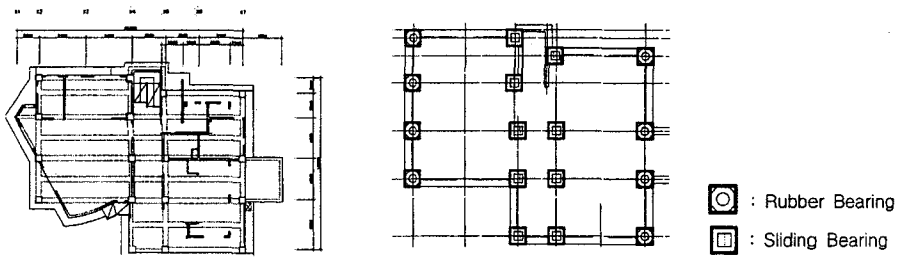
본 논문에서는 동 프로젝트에 대한 소개와 함께 성능설계 개념에 근거하여 설계된 저층, 경량 건물의 복합 면진시스템 적용효과와 그 결과가 논의될 것이다. 일반적으로 동 프로젝트에서와 같이 고성능의 내진을 성취하기 위한 목적으로 경량건물의 면진을 위하여 적층고무 베어링만을 사용한다는 것은 어렵다. 이는 일반적인 적층고무 베어링의 경우 전체 면진시스템의 고유주기를 신장시키는데 있어서

* 정회원, 대한주택공사 주택도시연구원 책임연구원, 공학박사
** 정회원, 아키니어링 대표, 공학박사
*** 정회원, 동일고무벨트(주) 기술연구소 과장

어느 정도 능력의 한계가 있기 때문이다. 하지만, 최근 연구결과[2]에 따르면 이러한 어려움은 저마찰력을 지닌 슬라이딩형 면진장치를 혼용함으로서 해결될 수 있으며, 본 프로젝트에서는 이를 준용하여 적층고무베어링과 함께 건물 전체 무게의 57%를 지지하는 슬라이딩베어링이 채용되었다. 본 논문에서는 특히 이 복합 면진시스템의 적용 효과가 고정기초의 경우와 비교하여 제시될 것이다.

2. 연구대상 건물 및 면진장치

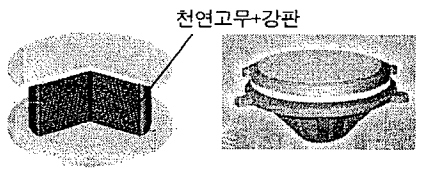
연구대상 건물은 지상 2층, 지하 1층 규모의 RC 골조로서 서산 예천동에 시공예정인 주민복지관이다. 전체 설계면적은 1,127m^{2}이며, 면진층 상부 구조의 중량은 2,442 tonf이다. 그림 1은 연구대상 건물의 1층 평면과 면진장치의 배치도를 나타낸 것이다.



(a) 기준층 평면도 (b) 면진장치 배치도

그림 1 연구대상 건물 및 면진장치 설치상황

면진시스템은 기초와 상부 구조물 사이에 설치되었으며, 목표 면진주기는 4.24초, 허용설계변위는 200mm이다. 일반적으로, 본 프로젝트에서와 같이 저층의 경량 구조물을 대상으로 하는 경우 적층고무계 면진장치 만으로는 아무리 낮은 전단탄성계수 값을 갖는 장치를 채용한다 하더라도 목표성능을 고성능으로 가져가는데 한계가 있어 슬라이딩계 베어링의 혼용이 불가피하다. 또한, 슬라이딩베어링과 적층고무베어링을 혼용하는 경우에도 지진 시 면진건물의 주기는 오직 적층고무베어링의 강성에 의해 좌우되므로 슬라이딩베어링의 혼용 비율에 따라 면진의 성능이 달라지게 되며, 슬라이딩베어링의 마찰계수에 따라 전체 시스템의 구동레벨이 결정되므로 항복레벨에 대한 고려에 주의하여야 한다.



(a) 적층고무베어링 (b) 슬라이딩베어링

그림 2 복합 면진시스템 적용 면진장치

표 1 적층고무베어링의 제원

장치종류 NRB	유효직경 D (mm)	전단탄성계수 G (Kg/cm^2)	고무1층두께 t_r (mm)	고무높이 T_r (mm)	장치 수 (N)
NRB500-4	500	4.0	8.0 x 20층	160	5
NRB500-6	500	6.0	8.0 x 20층	160	3

표 2 슬라이딩베어링의 제원

장치종류 NRB	장치외경 D (mm)	슬라이더경 D_{SL} (mm)	슬라이딩판 L_s (mm)	마찰계수 μ	장치 수 (N)
BSL200-3	560	400	800	0.033	6
BSL200-8	560	400	800	0.080	3

이러한 원칙아래 연구대상 건물은 설계용 풍하중에 대한 전단력계수(V/W) 0.01, 장치 전체의 항복 전단력 계수 0.024, 설계입력지진동 20 Kine을 목표로 설계하였다. 슬라이딩계 베어링은 여러 가지 종류가 있으나 본 프로젝트에서는 시공성과 현장 적용성을 고려하여 그림 2와 같은 미끄러짐 형식의 면진장치를 채용하였으며, 각 면진장치의 제원은 표 1 및 표 2와 같다.

3. 해석모델

연구대상 건물의 동적특성과 면진효과 검증을 위한 수학적 모델이 그림 3에 주어져 있다. 상부구조는 3질점의 탄성 집중질량모델(Lumped mass model)로 하고, 지진동의 입력위치는 지하층 주두레벨로 하였다. 면진장치는 적층고무베어링과 슬라이딩베어링의 복원력 특성에 따라 복합 구성된 이력특성을 갖는 스프링으로 치환하여 모델링 하였다. 상부 구조물의 감쇠값은 1차 고유모드 진동에 대하여 2% 상당의 강성비례형 점성감쇠로 가정하였으며, 면진층은 이력감쇠 이외에 점성감쇠를 고려하지 않았다. 응답해석을 위한 입력지진동은 El Centro NS(1940), Taft EW (1952), Hachinohe NS(1968), Hachinohe EW(1968), KKAW 2M7, KKAW 2M8로 총 6개의 지진동을 사용하였으며, 마지막 2개의 지진동은 인공지진파로서 설계된 건물의 성능한계를 확인할 목적으로 지진동의 지속시간을 M7(60 sec.)과 M8(120 sec.)에 상당하도록 설정하였다.

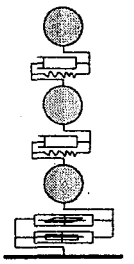


그림 3 MDOF 모델

4. 해석결과 및 면진건물의 응답특성

면진 전·후 건물의 주기특성이 표 3에 주어져 있다. 면진장치의 수평강성은 변형에 따라서 다른 특성을 지니고 있기 때문에 면진건물의 진동특성도 면진장치의 응답변형에 의존하여 변화한다. 따라서, 면진건물의 고유주기를 면진장치의 변형에 따른 등가강성으로 평가하였으며, 변형의 증가에 따른 면진건물로서의 진동주기 신장 정도를 표로부터 확인할 수 있다. 또한, 본 건물에서 채택한 BSL은 슬라이딩하기 시작하는 변위까지의 미소변형의 경우에는 아주 높은 초기 수평강성과 감쇠성능을 지니고 있어, 풍하중에 의한 건물의 진동을 억제하는 기능을 지니고 있다. 따라서, 작은 수평력에 대해서는 기초고정건물에 가까운 진동성상을 나타내고 강한 지진동을 받는 경우에는 면진구조로서의 진동성상을 발휘하게 된다. 그림 4는 상부 구조체의 진동모드 및 진동모드의 변화모습을 나타낸 것으로, 강한 지진을 받음에 따라 건물의 진동모드가 면진건물로서의 진동모드화 되어가는 것을 역시 확인할 수 있다.

PGV 20cm/s의 입력지진동에 대한 면진과 비 면진 모델의 높이에 따른 최대응답가속도, 최대응답변위, 최대응답층간변위 그리고 최대응답전단력이 그림 5에 주어져 있다. 그림으로부터 알 수 있듯이 본 프로젝트에 적용된 복합 면진시스템은 가속도를 감소시키는데 매우 효과적이며, 비 면진 대비 1/

표 3 면진건물의 주기특성

NRB의 변형 (cm)	X 방향		Y 방향	
	1차	2차	1차	2차
δ=0.0	0.47	0.19	0.55	0.23
δ=1.0	1.28	0.30	1.30	0.38
δ=5.0	2.37	0.30	2.38	0.39
δ=10.0	2.94	0.30	2.94	0.40
δ=20.0	3.46	0.31	3.46	0.40

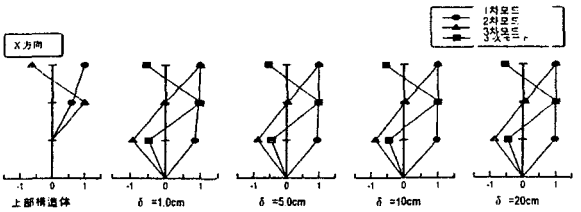


그림 4 면진장치의 변형과 진동모드의 변화

4~1/8 정도로 가속도 응답을 억제할 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 효과는 결국 설계전단력을 감소시켜 최대응답층전단력이 설계지진력 이하로 유지되고 있음을 확인할 수 있으며, 사용성 면에서 우수한 성능의 확보가 가능한 것으로 판단된다. 또한, 층간변위 역시 1/5~1/10로 감소가 가능하여 우수한 내진성능의 확보가 가능하고, 최대응답변위는 허용설계변위 이내임을 확인할 수 있다. 그림 6은 PGV 40cm/s의 입력지진동에 대한 면진과 비 면진 모델의 응답을 나타낸 것으로, 적용된 지진동 규모의 강진에 대해서도 본 건물은 허용설계변위 안에서 안전하게 거동하는 것을 알 수 있다.

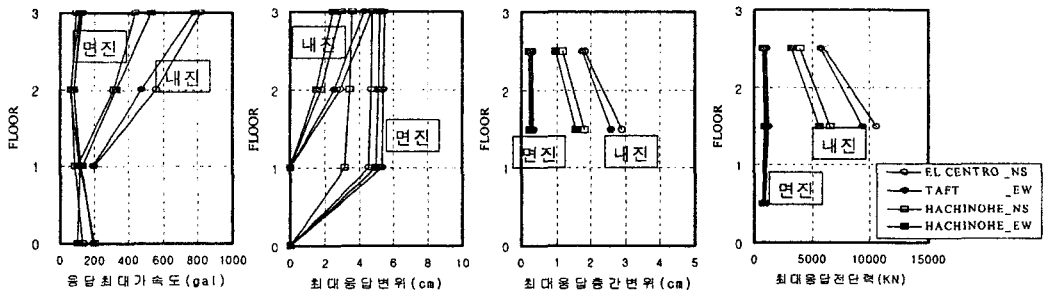


그림 5 지진응답해석결과 (PGV=20cm/s, X방향)

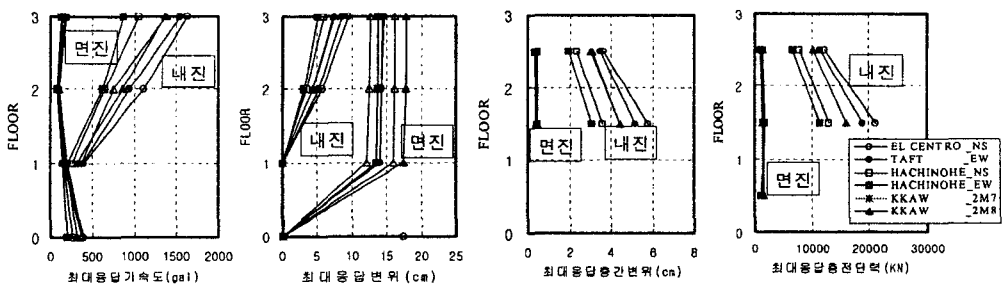


그림 6 지진응답해석결과 (PGV=40cm/s, X방향)

5. 결론

복합 면진시스템을 채용하여 본 프로젝트를 통해 설계된 면진건물은 아주 드물게 발생하는 강진에 대해서도 최대응답변위가 허용설계변위 이내이며, 최대응답전단력이 설계지진력 이하이므로 안전하게 유지될 수 있음을 알 수 있다.

참고문헌

1. 대한건축학회, 대한주택공사, DRB동일, "RC건물의 면진기법 적용을 위한 설계지침서 작성 및 실용화 연구", 대한건축학회, 2002.
2. Toshiyuki, S., "Comparison of seismic response between bridge with sliding-type base-isolation system and that with laminated rubber bearing", Proc. of 12WCEE, No.1221, 2000.