



## LRB와 슬라이딩베어링을 혼용한 면진시스템을 적용한 아파트 건물의 지진 응답

천영수<sup>1)\*</sup> · 윤영호<sup>1)</sup> · 황기태<sup>2)</sup> · 장극관<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>주택도시연구원 연구개발실 <sup>2)</sup>(주)에코닝 <sup>3)</sup>서울산업대학교 건축학부

### Seismic Response of Apartment Building with Base Isolation System Consisting of Sliding-type Bearing and Lead Rubber Bearing

Young-Soo Chun<sup>1)\*</sup>, Young-Ho Yoon<sup>1)</sup>, Ki-Tea Whang<sup>2)</sup>, and Kug-Kwan Chang<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Structural and Civil Engineering, Housing & Urban Research Institute, Seongnam 463-704, Korea

<sup>2)</sup>Econing Co. Ltd., Seoul 150-903, Korea

<sup>3)</sup>School of Architectural Engineering and Design, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

**ABSTRACT** This paper summarizes the results of a research on the isolate effects and economical efficiencies of seismic isolation design compared with the existing earthquake-resistant design, and presents seismic performance of the base isolation system consisting of sliding-type bearing and lead rubber bearing (LRB) compared with that consisting of the LRB only. From the results of the research, it is verified that seismic isolation is very effective to mitigate the influence of earthquake on structures and it is possible to increase the serviceability due to decrease of the floor acceleration. Also, from the point of view of reduction of story acceleration and base shear, the base isolation system consisting of sliding-type bearing and LRB is more effective than that with LRB only. In respect of economical efficiency, special care should be taken in using this method since costs which have to be paid in proportion to increased performance are high.

**Keywords :** seismic isolation system, apartment building, lead rubber bearing (LRB), sliding-type bearing

#### 1. 서 론

면진은 현재 세계 여러 나라에서 강진으로부터 중요한 건물들을 보호하고, 구조물의 장수명화와 내진 성능 향상을 도모하기 위한 실무적인 해결책으로서 받아들여지고 있다. 이는 최근 30여 년간 일본, 미국, 뉴질랜드 등을 중심으로 실험과 해석적인 연구를 통한 다양한 면진 장치의 개발과 실무 적용을 위한 설계 지침 및 기준의 개발에 따른 기술적인 발전의 결과라 할 수 있다. 특히, 일본의 경우 1994년 이전에 약 80여개의 건물에 불과하던 면진 건물이 1995년 고베지진 이후 그 효용성이 입증되어 2002년에 이르러서는 약 1,100여개의 건물이 면진화 될 만큼 장기적인 안목에서의 경제성과 내구성에 대하여 기존 내진설계가 갖는 한계에 대한 대안으로서 그 실효성을 인정받고 있다<sup>1)</sup>.

하지만, 국내의 경우 지진 위험도에 대한 인식의 증가와 함께 지진에 대한 안전을 확보하기 위하여 관련 기준들이 점차적으로 강화되고 있음에도 불구하고 아직까

지 일부 공학자들 사이에 면진에 대한 개념이 인지되고 있을 뿐 이를 실현하기 위한 기술적인 기반은 전혀 없는 상황이다.

특히, 1988년 내진 기준이 정립된 이후 현재까지 국내 주거 형식을 대표하여 벽식 구조 방식으로 건설되어온 대부분의 아파트 건물들은 지진과 같은 동적인 하중에 대하여 안전하도록 구조 부재의 연성 능력을 고려한 내진설계를 채용하여 왔다. 하지만, 이러한 기술은 최근 하중 기준의 강화와 더불어 부재 단면의 증가 뿐 아니라 내진설계의 기본 개념인 연성 설계를 위한 배근 상세의 어려움으로 인하여 한계에 부딪히게 되었으며, 또한 공간의 가변성 등에 대한 요구로 구조 부재의 배치에도 어려움이 있는 것이 현실이다. 이 경우, 면진은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 대안 기술임과 동시에 건물의 안전성과 사용성 향상이 가능한 방법으로 채용될 수 있으나, 국내의 경우 심리적인 보상 차원에서 도입된 단 한 건의 건물을 제외하고는 적용 실적이 없어 국내 특유의 구조 형식을 채용하고 있는 아파트 건물에 적용 시 경제성, 시공성, 그리고 성능의 우수성 등에 대하여 객관적인 평가가 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 벽식 구조 형식의 아파트를 대

\*Corresponding author E-mail : cysoo@jugong.co.kr  
Received March 5, 2007, Accepted May 18, 2007  
©2007 by Korea Concrete Institute

상으로 내진설계와 비교하여 면진설계를 적용함에 따른 구조 설계 상의 차이점과 경제성을 분석하고, 고성능의 면진효과를 얻기 위한 방법으로 채용된 LRB와 슬라이딩베어링을 혼용한 면진시스템의 효용성을 제시함으로써 향후 동 기술의 실용화를 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구 대상 건물

연구 대상 건물은 국내에서 시공되는 중소규모 아파트 중 59m<sup>2</sup>의 평면에 일반적으로 채용되고 있는 아파트로서, 단위세대 6세대와 3개의 계단실로 구성된 15층 아파트이며, Fig. 1은 이 아파트의 기준층 평면과 입면을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 연구 대상 건물은 단변에 비해 장변의 길이가 긴 장방향의 평면을 지니고 있으며, 구조 형식은 주요 전단벽이 단변 방향으로 배치된 전형적인 벽식 구조 방식의 아파트이다.

## 3. 면진 층 설계

면진 층은 기초슬래브와 1층 바닥슬래브 사이에 설치하는 것으로 설계하였으며, 상부로부터 전달되는 설계하중의 크기를 고려하여 Fig. 2와 같이 면진 장치를 배치하였다. 이 경우 사용된 면진 장치는 현재 가장 널리 적용되고 있는 납봉삽입적층고무면진장치(LRB)를 기본으로 하였으며 (Type 1), 고성능의 면진 효과를 얻기 위하여 슬라이딩베어링(SLR)을 혼용한 시스템 (Type 2)이 함께 검토되었다.

LRB의 설치에 있어서 개수와 크기는 면진의 성능 뿐 아니라 경제성에도 밀접한 관계를 가지는 설계 변수이다. Type 1의 경우 14기의  $\Phi 1,000$  LRB가 면진 층에 적용되었는데 이는 고성능의 면진 효과로서 최소한 내진 주기 대비 3배 이상의 면진 주기를 확보하기 위한 조치로서

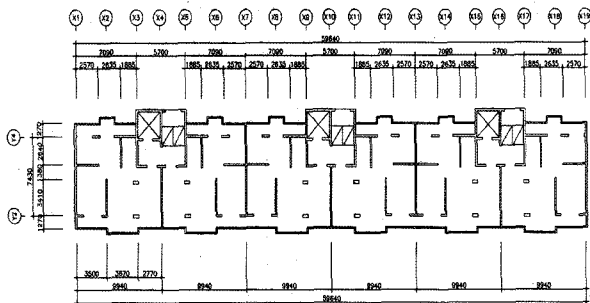
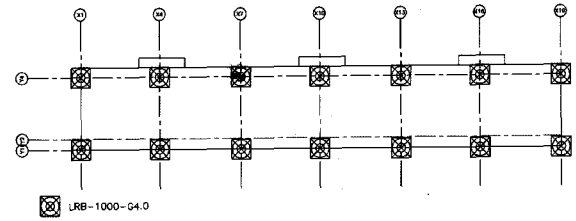


Fig. 1 Typical plan of studied building

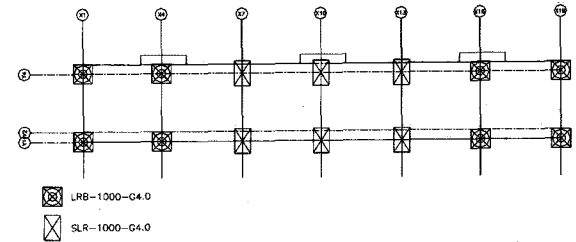
Table 1 Design parameters of isolation bearing

Name	Bearing diameter (mm)	Lead diameter (mm)	Shear modulus (MPa)	Lubber thk.(mm)	
				Layer	Total
LRB1000-d240-G4.0	1,000	240	0.4	8×30EA	240
SLR800-G8.0	800	-	0.8	6×15EA	90

Note) LRB : middle lead rubber bearing, SLR : sliding support with laminated rubber pad



(a) Type 1 : LRB  $\Phi 1000-14EA$



(b) Type 2 : LRB  $\Phi 1000-8EA+SLR \Phi 800-6EA$

Fig. 2 Arrangement of isolation bearing

면압 1.0 kN/cm<sup>2</sup>를 기준으로 설계된 것이며, 강진에 대하여 500 mm까지의 수평 변위를 허용할 수 있도록 하기 위한 것이다. 이 경우 물론 개개 LRB의 하중 부담 면적에 따라 면압이 달라지므로 서로 다른 크기의 LRB가 혼용될 수 있으나 직경이 다른 LRB를 사용할 경우 면진 층의 실제적인 허용 수평 변위가 최소 직경의 LRB에 의해서 결정되기 때문에 허용 수평 변위의 관점에서는 대구경 LRB를 적용함에 따른 이득을 전혀 고려할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 모두 동일한 직경의 LRB를 적용하는 것으로 하였으며, Fig. 2(a)와 같이 등 간격으로 배치하였다. LRB의 크기, 고무 층의 두께와 층수 등을 결정하기 위한 설계 과정은 Kelly<sup>2)</sup>의 방법에 준하여 설계되었다.

Type 2의 면진시스템은 LRB와 SLR을 혼용한 시스템으로, SLR을 통한 커다란 에너지소산의 결과로서 면진 건물의 응답을 크게 줄일 수 있으리라는 개념에 근거한 것이다<sup>3)</sup>. 이 경우 면진 효과는 두 베어링의 지지 무게 비율과 입력 지진동의 특성에 따라 달라질 수 있으며, 본 연구의 경우 SLR 무게 부담률을 50%로 설계하였다. 두 면진시스템에 사용된 LRB와 SLR의 설계 변수들에 대한 상세를 Table 1에 나타내었다.

## 4. 입력 지진동

지진동의 특성에 따른 면진 효과를 연구하기 위하여 각기 다른 주파수 성분을 갖는 6개의 지진파가 응답 해석을 위한 입력 지진동으로 선정되었다. Fig. 3은 사용된

입력 지진동들의 푸리에 스펙트럼을 나타낸 것으로, 그림으로부터 입력 지진동의 지배 진동수는 0.4~6.0 Hz에 분포되어 있음을 알 수 있다. 또한, 지진동 입력 레벨의 크기에 따른 효과를 분석하기 위하여 최대 속도를 기준으로 각각 10 kine, 25 kine, 50 kine에 맞게 지진동의 크기를 조절하여 총 18개의 지진파에 대한 해석을 수행하였다. Table 2는 해석에 사용된 입력 지진동의 특성을 정리하여 나타낸 것이다.

### 5. 해석 모델 및 해석 방법

면진설계를 채용하는데 따른 효과를 분석하기 위하여 연구 대상 건물의 내진 모델과 면진 모델을 구성하여 시간이력해석을 수행하였다.

해석 모델은 상부 건물의 경우 층별 집중 질량을 갖는 다절점 모델 (lumped multi-mass)로 모델링하였으며, 면진시스템은 이선형 이력 요소 (bilinear hysteretic element)로서 모델링하였다 (Fig. 4 참조). 해석 시 상부 구조물은 항상 탄성이며 비선형거동은 오직 면진 층에만 집중되는 것으로 가정하였으며, 건물의 감쇠는 1차 진동 모

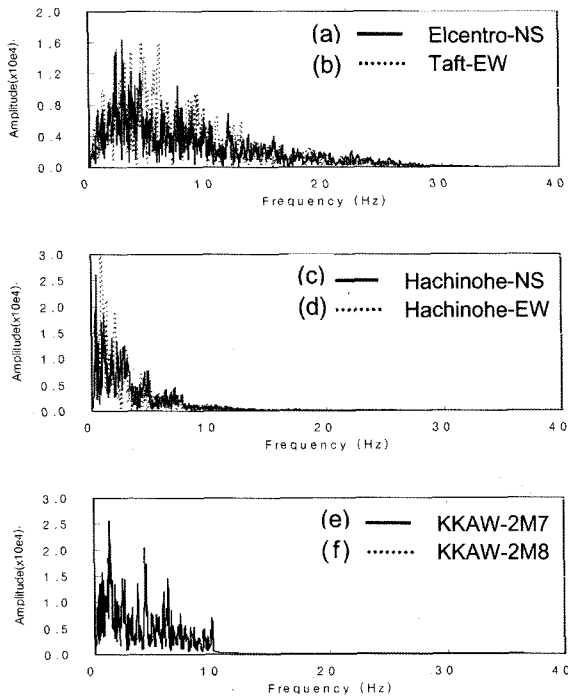


Fig. 3 Frequency characteristics of earthquake

Table 2 Characteristics of earthquake motions

Earthquake type	Max. input acc. ( $A_{max}$ , $cm/s^2$ )			Dominant frequencies (Hz)
	10 kine	25 kine	50 kine	
Elcentro-NS (1940)	102.3	255.8	511.5	2.3~4.5
Taft-EW (1952)	99.4	248.4	496.9	2.3~6.0
Hachinohe-NS (1968)	66.0	165.0	329.9	0.4~1.0
Hachinohe-EW (1968)	53.0	132.5	265.1	0.8~2.0
KKAW-2M7 (Artificial EQ)	78.5	196.3	392.6	1.3~6.0
KKAW-2M8 (Artificial EQ)	73.5	183.8	367.6	1.3~6.0

드에 대하여 5%의 강성 비례형 점성 감쇠로 가정하였다. 또한, LRB의 복원력 특성은 납과 고무의 비선형 특성을 고려한 이선형 (bilinear) 이력 모델을 사용하였으며, SLR은 고무의 수평 강성을 초기 강성으로 하고 슬라이딩 하중을 항복하중, 슬라이딩 발생 후의 강성을 제로로 하는 이선형 이력 특성을 갖는 것으로 모델링 하였다.

시간이력 해석은 Table 2에 묘사된 18개의 지진동에 의하여 X, Y방향으로 가진되었다.

### 6. 시간이력 해석 결과 및 분석

내진 모델과 면진 모델의 지진응답 해석 결과를 정리하여 Table 3에 나타내었으며, 비교 예로서 Type 1과 Type 2 면진시스템에 대하여 10 kine과 50 kine의 입력 지진동 작용 시 X방향의 층별 가속도, 변위, 층간 변위, 그리고 층 전단력 응답 분포를 각각 Figs. 5와 6에 나타내었다.

#### 6.1 면진 효과 분석

Table 3과 Figs. 5 및 6으로부터 알 수 있는 바와 같이 면진 효과에 대한 전반적인 결과는 면진시스템의 도입으로 층별 가속도, 변위, 층간 변위, 층 전단력 응답 분포의 모든 조건에 대하여 내진설계보다 향상된 내진 성능의 확보가 가능한 것으로 나타났다.

면진 효과에 있어서 두드러진 점은 층별 가속도와 전

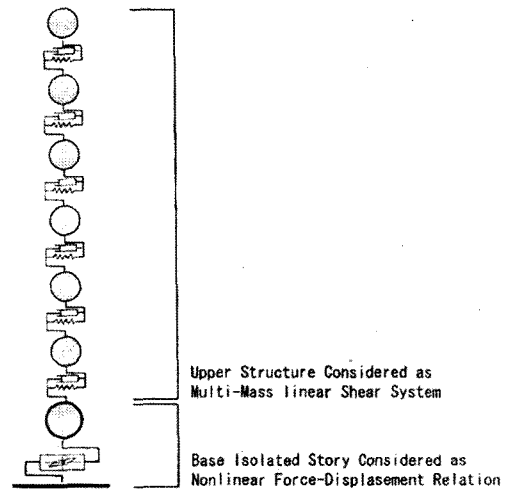


Fig. 4 Modelling of the building

**Table 3 Results of time history analysis**

Earthquake type		Top floor max. acc. ( $A_{max}$ , $cm/s^2$ )				Base shear ( $V_{max}$ , KN)				Max. inter-story drift (%)			
		10 kine		50 kine		10 kine		50 kine		10 kine		50 kine	
		(1)*	(2)*	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Elcentro-NS (1940)	T1	335	85	1,200	300	13,500	3,150	66,000	7,300	0.12	0.03	0.73	0.05
	T2	386	49	1,730	160	13,500	2,100	89,500	6,000	0.13	0.02	0.75	0.04
Taft-EW (1952)	T1	342	100	1,800	325	15,000	3,330	74,000	7,150	0.14	0.03	0.77	0.08
	T2	346	74	1,730	190	15,000	2,000	89,000	5,800	0.15	0.02	0.76	0.04
Hachinohe-NS (1968)	T1	264	66	1,320	250	11,200	3,500	57,000	7,050	0.12	0.03	0.69	0.08
	T2	270	39	1,380	110	11,300	2,050	68,000	5,100	0.11	0.02	0.75	0.04
Hachinohe-EW (1968)	T1	278	114	1,950	340	15,900	4,160	78,000	7,400	0.18	0.04	1.15	0.09
	T2	280	50	1,400	120	15,800	2,700	72,000	5,300	0.17	0.02	1.07	0.04
KKAU-2M7 (Artificial EQ)	T1	428	107	1,400	320	12,550	4,500	64,000	7,200	0.15	0.04	0.81	0.08
	T2	430	54	2,170	150	12,800	2,200	105,000	5,500	0.12	0.02	0.77	0.03
KKAU-2M8 (Artificial EQ)	T1	436	118	1,150	380	16,660	3,330	84,000	7,000	0.17	0.04	0.96	0.09
	T2	435	48	2,180	170	16,800	1,900	118,000	5,400	0.18	0.02	0.85	0.05

\*(1) : Non-isolation, (2) Isolation

단력 그리고 층간 변위의 감소로 이야기될 수 있는데, 먼저 Type 1의 면진시스템을 사용한 경우를 자세히 살펴보면, 10 kine의 지진동에 대한 해석 결과 층별 가속도의 최대 값이 내진설계 시 보다 약 1/3로 감소하였음을 알 수 있으며, 분포 면에 있어서도 내진 설계 시에는 상부 층으로 갈수록 점진적인 증가를 보이고 있는 반면, 면진설계를 한 경우에는 거의 전 층에 대하여 일정한 값을 나타내고 있어 면진 효과로서 사용성면에 있어서 훨씬 향상된 거동을 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 층간 변위에 있어서도 약 1/3로 감소된 결과를 나타내고 있음을 볼 수 있는데, 현 내진 기준의 경우 건물의 내진 성능을 층간 변위로 제한하고 있다는 점을 고려한다면 이러한 결과는 결국 면진설계 된 건물의 향상된 내진 효과를 대변하는 것이라 할 수 있다. 뿐만 아니라 전단력에 있어서도 면진 설계를 통하여 최대 값을 약 1/3 정도로 감소시킬 수 있음을 알 수 있는데, 이러한 결과는 결국 상부 구조의 부재 설계에 있어서 작용하는 하중의 감소를 의미한다. 상기의 결과들은 입력 지진동의 레벨이 높아질수록 그 효과가 두드러지게 나타나고 있는데, 50 kine의 지진동이 작용한 경우에는 약 1/6정도까지 층별 가속도와 전단력의 감소가 가능한 것을 알 수 있다. 면진 효과의 관점에서 본다면 층별 가속도와 전단력 그리고 층간 변위의 감소는 Type 2 시스템에 있어서도 Type 1 시스템과 동일한 결과를 나타내는 것으로 평가되었다.

### 6.2 면진시스템의 차이에 따른 면진 효과

본 연구의 주 목적중의 하나는 SLR을 혼용함으로써 고성능의 면진 효과 창출이 가능한지의 여부를 검증하는데 있다. 면진 구조에 있어서 면진 효과는 전술된 바와 같이 층별 가속도, 전단력 그리고 층간 변위 등의 감

소 정도로서 평가될 수 있다. 연구 목적에 따라 적용된 두 시스템의 응답 결과를 비교해 보면, 먼저 10 kine의 지진동에 대한 해석 결과 Type 1의 층별 가속도 최대 값은 내진설계 시 보다 약 1/3로 감소한 반면, Type 2의 경우에는 약 1/6의 감소를 보여 SLR을 혼용함으로써 거의 2배에 가까운 지진동의 감소 효과를 얻을 수 있다는 사실을 알 수 있으며, 층간 변위와 전단력에 있어서도 유사한 비례로 그 값이 감소하는 것으로 나타났다. 면진 효과의 측면에서 본다면 이러한 결과는 LRB만을 사용한 경우보다 LRB와 SLR을 혼용하는 쪽이 훨씬 높은 면진 효과를 기대할 수 있다는 사실을 말해준다. 또한, 이러한 효과는 지진동의 증가에 따라 증가하는 것으로 나타났다으며, 50 kine에 이르러서는 Type 1과 Type 2의 경우 각각 약 1/6, 1/10까지 지진동의 감소 효과가 있는 것으로 나타났다.

적용 면진시스템의 차이에 따른 면진 효과에 있어서 비록 Type 2가 Type 1보다 우수한 성능을 보이며 지진동의 크기에 따라 그 효과 또한 비례적으로 커지는 것으로 분석되었지만, 지진동의 감소율은 지진동의 크기가 5배까지 증가하였음에도 불구하고 거의 동일한 수준을 나타내, 감소율 면에 있어서는 지진동의 크기에 민감하지 않은 것으로 판단된다.

### 6.3 면진 장치 요구 성능 검증

면진설계의 경우 지진하중의 감소와 같은 면진 효과를 얻는데 반하여 면진층의 변위 증가를 감수해야만 하며, 이는 면진설계에 있어서 면진의 성능을 결정하는데 중요한 요소로서 고려되어야 하는 부분이다. 본 연구의 경우, 고성능의 면진 효과를 얻기 위하여 목표 허용 변위를 약 500 mm로 하여  $\phi 1000$ 의 LRB를 사용하는 것으로 면진 시스템을 설계하였으나, 해석 결과 최대 지진력으로 입

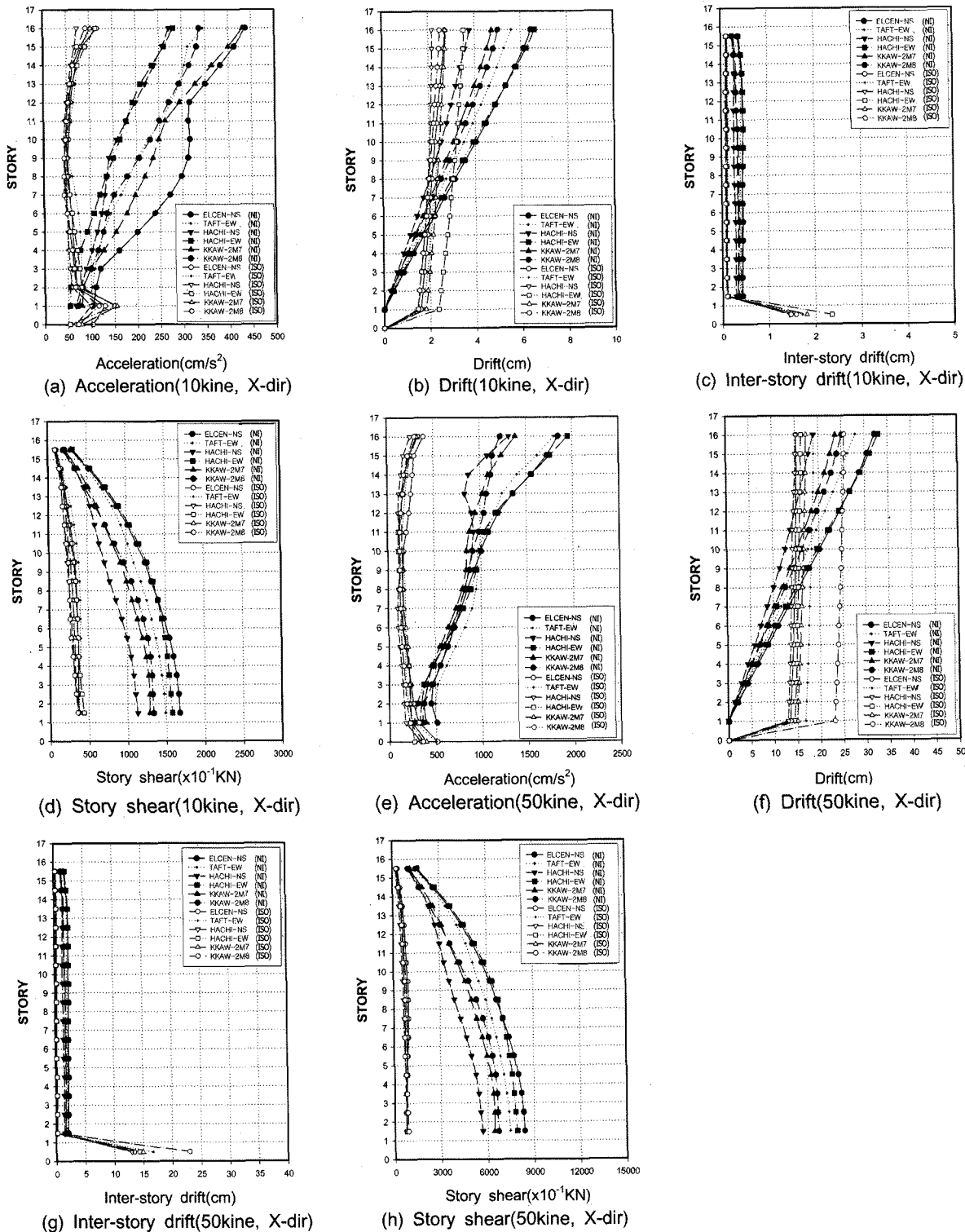


Fig. 5 Distribution of maximum response on type 1 base isolation system (10 kine, 50 kine, X-direction): NI = non-isolation, ISO = base isolation

력된 50 kine의 지진동에 대해서 응답으로 나타난 최대 변위 값은 Type 1의 경우 250 mm로서 당초 설계 변위의 1/2 정도만이 요구되는 것으로 나타났다. 해석 결과를 토대로 설계의 적합성 여부를 따져 본다면 동 건물에 대한 Type 1 면진 장치의 크기는  $\phi 600$  정도로 결정하여도 무난하리라 사료된다. 하지만 이 경우 면진 장치의 크기를 결정하는 것은 단지 허용 변위로만 결정될 사항은 아니다. 성능의 확보 차원에서만 본다면  $\phi 600$  정도

의 LRB의 사용으로도 족할 것이나, 이러한 장치의 사용은 결국 개개 장치의 면압을 증가시키게 될 것이므로 보다 많은 수의 LRB가 필요할 수도 있기 때문이다. 그러므로 어느 정도 크기의 LRB가 적절한 것인가는 성능의 확보와 함께 경제성의 관점에서 검토되어야 한다.

반면, Type 2의 경우에 있어서는 최대 지진동인 50 kine을 적용한 경우, 약 400 mm의 변위를 요구하고 있어 LRB의 선택에 있어서도 당초 목표치와 잘 일치하고 있

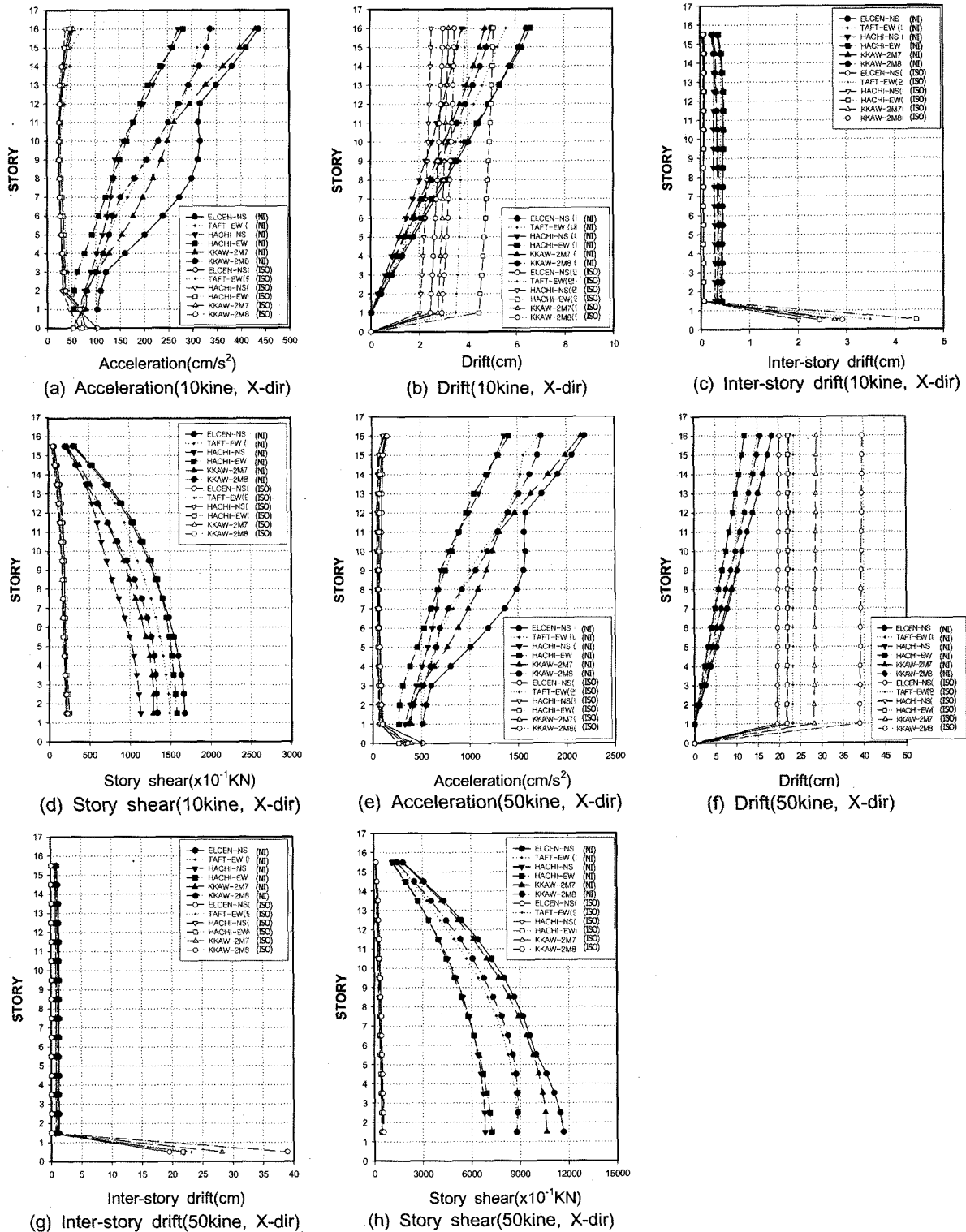


Fig. 6 Distribution of maximum response on type 2 base isolation system (10 kine, 50 kine, X-direction): NI = non-isolation, ISO = base isolation

음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에 있어서는 LRB만을 사용한 경우보다 SLR을 혼용하여 사용한 경우가 보다 경제적이고 향상된 면진 효과를 기대할 수 있어 최적 설계에 가까운 설계가 이루어졌다고 판단된다.

#### 6.4 입력 지진동의 차이에 따른 면진 효과

입력 지진동의 특성에 따른 면진 효과는 Figs. 5와 6

에서도 알 수 있는 바와 같이 두 면진시스템 모두에 대하여 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 최대 전단력의 감소량은 6개의 지진파 모두에 대하여 거의 같은 수준으로 나타났으며, 최상층 가속도에 있어서도 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 다만, 허용 변위에 있어서는 Hachinohe-EW파를 작용시킨 경우가 다른 경우에 비하여 두드러지게 큰 수평 변위를 요구하는 것으로 나타났다.

## 7. 경제성 분석

면진설계에 따른 경제적인 효과를 검토하기 위하여, Fig. 1에 주어진 건물을 대상으로 현행 내진설계를 적용한 경우와 상기 Type 2 구조로 면진설계된 경우에 대하여 공사비를 비교하였다.

내진설계는 『건축구조설계기준 (KBC 2005)』<sup>4)</sup>에 준하고, ACI 318-05<sup>5)</sup>를 참고로 하여 설계하였으며, 설계 시 고려된 재료의 규격은  $f_{ck}=24\text{ MPa}$ 와  $f_y=400\text{ MPa}$ 이다. 구조 해석은 MIDAS GEN과 SDS를 이용하여 수행되었다. 면진설계는 상기 시간이력 해석 결과로부터 6개의 지진파에 대하여 10 kine에 해당하는 건물의 응답을 포락하여 상부 건물의 설계를 위한 지진하중으로 사용하였다. 상부 건물의 설계에 있어서는 내진설계시와 동일한 기준에 따라 설계하였으며, 설계 시 고려된 하중과 재료의 규격도 동일하다. 면진 층은 1층과 지하층 사이에 설치하는 것으로 하였으며, 상부 건물과 면진 장치를 연결하기 위하여 1층 하부를 전이 층으로 설계하였다. 전이 층의 구조는 일반 보-기둥 구조로 하였다.

상기 설계 결과에 준하여 면진설계의 적용에 따른 철근과 콘크리트의 절감 또는 할증물량을 정량적으로 산정하여 Tables 4와 5에 나타내었으며, Table 6은 경제성 분석을 위한 일위 대가를 나타낸 것이다. 철근의 물량은 할증률과 이음 조정율을 고려하여 산정하였으며, 콘크리트의 물량은 면진설계 시 전이 층의 부가로 인한 할증물량만을 고려하였다.

Tables 4와 5에서 보는 바와 같이 15층 90세대를 기준으로 할 때 면진설계 시 물량 증가에 따른 공사비 증가액은 약 123,071천원 ( $83,053.6\text{원} \times 875\text{ kN} + 55,850\text{원} \times$

$902.4\text{ m}^3$ )인 것을 알 수 있으나, 상기 공사비 증가에는 면진 장치 및 시스템의 설치 비용이 포함되지 않은 상태이므로 실제적인 공사비 증가액은 더 클 것으로 예상된다. 면진장치의 경우 제작 회사마다 그 성능과 가격상의 차이가 있어 정확한 단가 산정은 어려우며, 대체적으로 국내 생산업체의 평균 LRB 공급가격을 참고로 한다면 공사비 증가액은 전체 골조 공사비의 약 5~7% 정도가 될 것으로 예상된다.

이러한 공사비의 상승 요인을 살펴보면, 주된 공사비의 증가 요인은 면진 층의 설치를 위한 전이 층의 부가적인 요구 때문으로 아파트 구조 방식으로 현재의 벽식 구조를 고집한다면 피할 수 없는 결과라 사료된다. 하지만 향후 골조 형식과 같이 전이 층의 설치 없이 곧 바로 면진 층의 구성이 가능한 구조 형식으로 아파트의 구조 형식이 전환된다면 신축 공사비에 있어서도 공사비의 큰 증가요인 없이 우수한 내진 성능의 확보가 가능하리라 사료된다.

현재의 벽식 구조 방식에 있어서도 비록 신축 공사비의 관점에서만 본다면 면진 구조의 채택으로 인해 피할 수 없는 공사비의 상승이 예상되나, 기능면에 있어서는 향상된 내진 성능의 확보가 가능하고, 건물의 내구 연한 중 지진 피해에 의한 보수비와 리노베이션 (renovation)

**Table 5 Comparison of concrete amounts** (Unit : m<sup>3</sup>)

	Non-isolation		Isolation		Decrease	
	Amounts	Ratio(%)	Amounts	Ratio(%)	Amounts	Ratio(%)
Slab	1,429.69	100.0	1,336.07	57.3	93.62	6.5
Tr floor	0	0	996.02	42.7	-996.02	-100.0
Total	1,429.69	100.0	2,332.09	100.0	-902.40	-63.1

**Table 4 Comparison of reinforcement amounts**

(Unit : kN)

	Non-isolation		Isolation		Decrease	
	Amounts	Ratio(%)	Amounts	Ratio(%)	Amounts	Ratio(%)
Beam	248.84	6.3	246.31	5.1	253	1.0
Column	303.87	7.7	151.93	3.2	151.94	50.0
Wall	1,613.66	41.0	1,093.11	22.7	520.55	32.3
Slab	1,249.86	31.8	1,171.30	24.4	78.56	-
Tr floor	0	0	1,628.97	33.9	-1,628.97	-124.0
Stair	178.52	4.6	178.52	3.7	0	0
Base	337.23	8.6	337.23	7.0	0	0
Total	3,931.98	100.0	4,807.37	100.0	-875.39	-22.3

**Table 6 Cost basis included ready-mixed concrete**

	Standard	Unit	Unit cost	Amount	Cost(won)
Reinforcement	-	KN	35,500	-	35,500.0
Tie wire	-	N	62	8	496.0
Loss	2% of LC	-	-	-	922.7
Labor costs	Reinforcement	person	8,411.3	4.2	35,327.5
	Normal	person	4,503.1	2.4	10,807.4
Total(rein.)	-	-	-	-	83,053.6
Ready-mixed concrete	270-12-25	m <sup>3</sup>	55,850	-	55,850

비용, 그리고 내부 수용물의 손해 등 경제적인 손해를 포함한 생애주기비용 (life cycle cost)으로서 경제성을 판단한다면 면진 구조의 경제적인 이점은 훨씬 상승할 것으로 기대된다.

## 8. 결 론

본 연구에서는 내진설계와 비교하여 면진설계를 적용함에 따른 구조설계상의 차이점과 경제성을 분석하고, 고성능의 면진 효과를 얻기 위한 방법으로 채용된 LRB와 SLR을 혼용한 면진시스템의 효용성을 검증하기 위하여 벽식 구조 형식의 아파트를 대상으로 해석적인 비교 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 면진 구조의 채용은 지진동 레벨에 따라 1/3~1/10까지의 층별 가속도, 전단력, 그리고 층간 변위의 감소 효과를 얻을 수 있어 인명에 대한 안전 뿐 아니라 건물 자체에 대한 안전보장이 가능하여 장수명화 주택 건설의 구현이 가능하고, 건물의 층 가속도의 감소로 사용성 면에 있어서도 우수한 성능의 확보가 가능한 것으로 나타났다.
- 2) LRB와 SLR을 혼용한 면진시스템이 순수 LRB만을 채용한 시스템 보다 성능 면에서 훨씬 우수한 것으로 나타났으며, SLR의 상부 하중 지지율을 50%까지 확보한다면 약 2배의 면진 효과를 얻을 수 있는

것으로 나타났다.

- 3) 경제성에 있어서는 벽식 구조의 경우 면진 층의 설치를 위한 전이 층의 부가적인 요구에 의해 초기 건설비용의 상승은 피할 수 없을 것으로 판단되나, 건물의 내구연한 중 지진 피해에 의한 보수비와 리노베이션 (renovation) 비용, 그리고 내부 수용물의 손해 등 경제적인 손해를 포함한 생애주기비용 (LCC)을 고려한다면 면진 구조의 경제적인 이점은 훨씬 상승할 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. Kani N., “일본의 면진 구조 현황과 미래의 전망”, 한일 국제심포지엄, 대한건축학회, No.4. 2002, pp.77~119.
2. Kelly, J. M., *Earthquake-Resistant Design with Rubber*, Second Edition, Springer-Verlag London Limited, Great Britain. 1997, pp.191~214.
3. Sugiyama T., “Comparison of Seismic Response between Bridge with Sliding-type Base-Isolation System and that with Laminated Rubber Bearing”, *Proceedings of 12th World Conference of Earthquake Engineering*, No.1221, Okland, NZ, 2000, pp.1~8.
4. 대한건축학회, “건축구조설계기준(KBC)”, 대한건축학회, 2005, pp.89~112.
5. American Concrete Institute(ACI), *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*, Farmington Hills, Mich., 2005, pp.305~342.

**요 약** 이 논문은 기존 내진설계와 비교하여 면진설계의 효용성과 경제적 효과에 대한 연구 결과를 정리한 것이며, 면진설계에 있어서는 납봉삽입적층고무베어링 (LRB)만을 사용한 경우와 비교하여 슬라이딩베어링과 LRB를 혼용한 면진시스템의 내진 거동을 함께 제시하였다. 연구 결과, 면진은 구조물에 대하여 지진동으로 인한 효과를 감소시키는데 매우 효과적이며, 층 가속도의 감소로 사용성을 증가시킬 수 있음이 입증되었다. 또한 층 가속도와 밀면 전단력의 감소라는 관점에서 슬라이딩베어링과 LRB를 혼용한 면진시스템이 LRB만을 사용한 경우보다 더 효과적임을 증명하였다. 하지만 경제적 효과 면에서는 증가된 성능에 비례하여 지불해야만 하는 비용도 커진다는 사실에 특별히 주의할 필요가 있는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 면진시스템, 아파트 건물, 납봉삽입적층고무베어링 (LRB), 슬라이딩베어링