

# 롤러를 이용한 IRB(Isolation Roller Bearing) 면진시스템

## IRB System Used for Rollers to Protect Building from Earthquake



손인철\*

\*㈜원에스티 기술연구소 연구원

### 1. 서론

IRB(Isolation Roller Bearing)는 지반과 구조물 사이에 진동절연체를 삽입하여 상부 구조물에 전달되는 지진 에너지를 차단하는 방식의 면진시스템이다.

한국은 더 이상 지진의 안전지대가 아니다. 1978년부터 2007년에 이르는 국내 지진 발생 빈도를 보면 우리나라의 지진 발생 회수는 연평균 25회 정도이고, 진도 3.0이상의 지진도 연평균 9회나 발생하였다(그림 1 참조). 그리고 한양대 지진연구소의 발표에 따르면 10년 이내에 서울 및 수도권권에 진도 5.5 규모의 강진이 발생 할 가능성이 57%나

된다고 한다. 특히, 2007년 1월 오대산에서 일어난 진도 4.8의 강진의 예와 같이 우리나라도 이제 마냥 지진을 다른 나라에서 일어나는 재해로 치부해 버릴 수 없는 상황에 있다.

현재, 지진을 다루는 가장 일반적인 방법은 건축물의 구조시스템을 개선하거나 구조부재의 연성능력을 고려한 내진설계 기법을 적용하는 것이다. 그러나 이러한 기술은 건물의 구조계획 시 부재의 단면이 증가될 뿐만 아니라, 내진설계의 기본개념인 연성설계를 위한 배근상세의 어려움 및 그 효과의 불확실성으로 인하여 설계된 부재의 내진성능 신뢰성에도 적지 않은 의문이 있는 것이 사실이다. 또

국내 지진 발생 추이

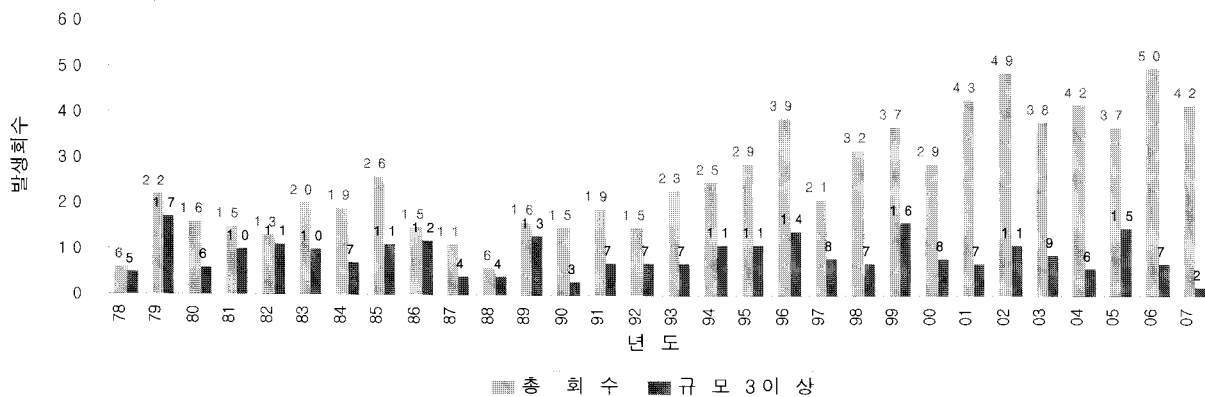


그림 1 국내지진 발생 추이

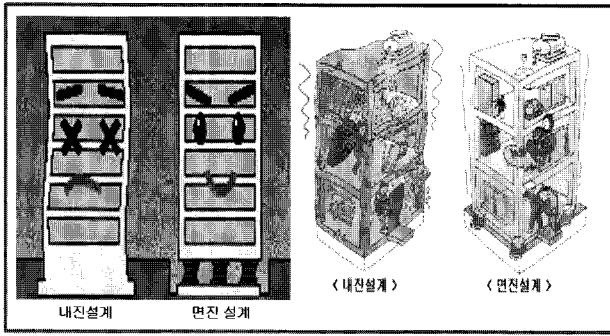


그림 2 내진설계 및 면진설계의 개념도

한, 내진은 어느 정도 건물의 피해를 허용하는 설계법이므로, 2차 재해의 예방이나 도시의 기능마비 방지라는 차원에서 공공성이 있는 건물의 경우 지진재해 이후 확실하게 기능이 발휘될 수 있을 지의 여부를 장담할 수 없다는 문제점도 있다. 더욱이, 최근에는 시설의 고 기능화와 건물의 부가가치를 유지해야 할 필요성이 증대하고 있으며, 컴퓨터, 온라인 네트워크 등의 정보 인프라설비는 물론 정보화시대를 생존하기 위한 기업의 경영자들이 항상 재해에 의한 손실이라고 하는 위험에 노출되어 있어 내진에 있어서의 한계성을 극복하기 위한 많은 노력들이 행해지고 있다.

면진시스템은 상기와 같은 문제점을 극복하기 위한 새로운 내진설계 기술의 하나로써, 건물과 지반사이에 전단변형 장치를 설치하여 지반과 건물을 분리(base isolation)시키는 방법이다. 이 시스템은 지반과 구조물 사이에 진동절연체를 삽입하여 상부 구조물에 전달되는 지진 에너지를 차단하는 방식으로 인명 뿐 만 아니라 건물 내부기기까지도 보호가 가능한 차세대 내진기술이다(그림 2 참조). 이러한 면진시스템은 지진지역에서 내진설계의 효과가 상대적으로 작은 강성구조물과 같은 신축건물은 물론이고, 내진설계가 되어 있지 않은 동일한 기존건물에 대해서도 효과적으로 적용시킬 수가 있기 때문에 설치공법의 단순함, 그리고 지진하중에 대한 진동제어 효과의 탁월성 등으로 인하여 현재 세계 여러 나라에서 강진으로부터 중요한 건물들을 보호하고, 구조물의 장수명화와 내진성능 향상을 도모하기 위한 실무적인 해결책으로서 받아들여지고 있다. 이는 최근 30여 년간 일본, 미국, 뉴질랜드 등을 중심으로 실험과 해석적인 연구를 통한 다양한 면진장치의 개발과 실무적용을 위한 설계지침 및 기준의 개발에 따른 기술적인 발전의 결과라 할 수 있다. 특히, 일본의 경우 1994년 이전에 약 80여개의 건물에 불과하던 면진건물이 1995년 고베지진 이후 그 효용성이 입증되어, 2002년에 이르러서는 약 1,100여개의 건물이 면진화 될 만큼 장기적인 안목에

서의 경제성과 내구성에 대하여 기존 내진설계가 갖는 한계에 대한 대안으로서 그 실효성을 인정받고 있다.

## 2. 롤러를 이용한 면진시스템

건축 면진용 IRB(Isolation Roller Bearing)는 중간 플레이트를 중심으로 상부 플레이트와 하부 플레이트가 서로 직교되게 3단 적층 구조로 형성되고, 그 적층 결합단면에 롤러를 수납시켜 지진의 진동이 발생 방향에 따라 X, Y축으로 슬라이드 되는 방식으로 구성되어 있다(그림 3, 4 참조).

현재 우리나라 면진시스템 생산 업체가 주로 제조하고 있는 면진시스템은 '적층고무 베어링'으로서 천연고무나 네오프렌(neoprene)과 같은 합성고무와 철판을 교대로 쌓고 고온, 고압으로 접착한 장치이다. 이 '적층고무 베어링'은 보편적으로 쓰이는 면진시스템이지만, 이 시스템의 성능을 고성능으로 가져가기 위해서는 면압(장치에 작용하는 수직하중의 양)을 충분히 확보해야 하는 어려움이 있다. 뿐만 아니라 수평방향 유효강성이 높아 상부구조물에 전달되는 지진에너지를 완벽히 차단하기에는 한계가 있을 수밖에 없다.

이러한 기존 면진시스템의 단점을 보완하며 고하중을 견딜 수 있고 적은 마찰계수를 가지는 장치가 건축 면진용 IRB이다.

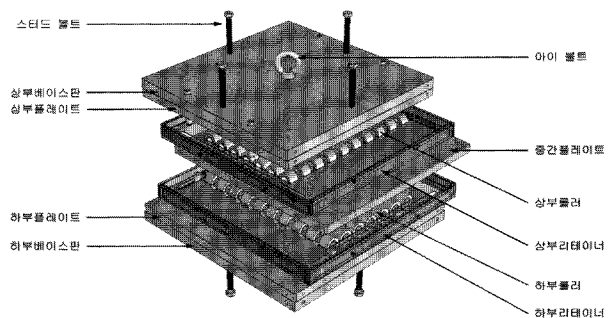


그림 3 건축 면진용 IRB (Isolation Roller Bearing)의 구조도

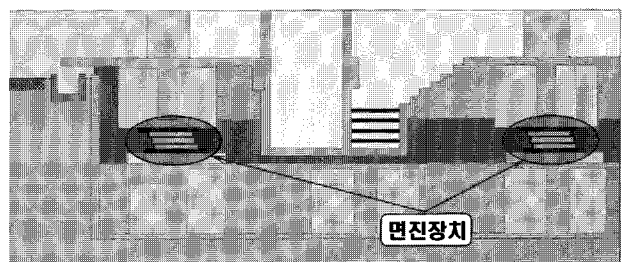


그림 4 면진시스템의 적용 예

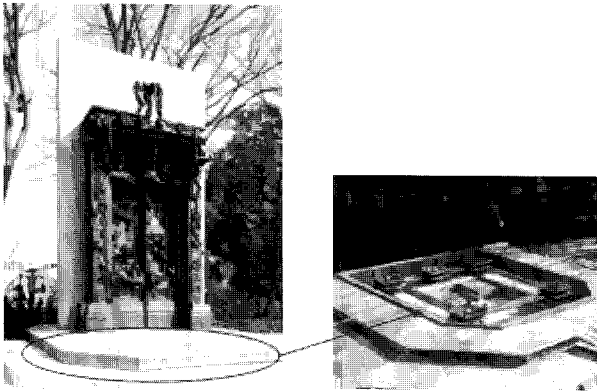


그림 5 전시물의 내지진보강 ('The Gates of Hell' by Auguste Rodin)

'건축 면진용 IRB (Isolation Roller Bearing)'는 기존 '적층고무 베어링'보다 마찰계수가 10배 이상 작기 때문에 비교적 간단히 건물의 고유주기를 장주기로 이동시켜 보다 고성능의 면진효과를 발휘할 수가 있다. 또한 '적층고무 베어링'과는 달리 연직하중 지지능력과 복원능력, 그리고 수평 변형능력을 각각 독립적으로 부여할 수 있으므로 면진시스템 설계가 용이하고 건물과 지반의 특성에 따른 구조설계가 간단하여 시공설계자와 소비자의 요구를 충족시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

- 건축 면진용 IRB(Isolation Roller Bearing)의 특징은
- 격리기능 : 지진의 진동이 건물에 전달되지 않도록 격리하여 상부구조물의 내부시설물 보호 및 거주성 및 안전성을 향상시킨다.
  - 높은 사용하중 및 연직강성 : 일본의 구름면진장치인 SBB에 비해 동일 공간에서 10배의 사용하중과 동일 마찰계수에서 5배나 높은 연직강성을 가지고 있다.
  - 독립적인 성능 부여 가능 : 연직하중, 지지능력과 복원능력, 수평 변형능력을 각각 독립적으로 부여하는 것이 가능하여 건물과 지반의 특성에 따른 면진시스템 및 구조설계가 용이하다.
  - 리모델링시 내지진 보강이 유리함 : 내진설계가 적용되기 이전 건축물이나 문화재 등의 내지진 보강(Retrofit)시 상부구조에 부수적인 보강없이 내지진 보강에 유리하고, 구조물 뿐 아니라 각각의 내부 시설물에도 적용이 가능하다(그림 5 참조).

건축 면진용 IRB(Isolation Roller Bearing)는 한국산업기술시험원을 통해 그 신뢰성을 인정받았으며, 해외선진제품과 비교 평가에서도 연직강성, 마찰계수, 장기지지하중 등 성능에서 우수함을 보여주었다.

### 3. 면진 IRB 성능 시험

그림 6은 한국건설기술연구원의 윤하중 시험동에서 이루어진 면진 IRB의 시험과정과 시험에 사용된 장비의 주요 사양을 나타낸 것이다.



항 목	장비 주요사양
최대수직하중	910ton (hydraulic actuator 350ton, hydraulic nut 56ton × 10)
최대수평하중	20ton (hydraulic actuator 20ton)
Frame 설계하중	1,000ton
시험장소	한국건설기술연구원 윤하중시험동

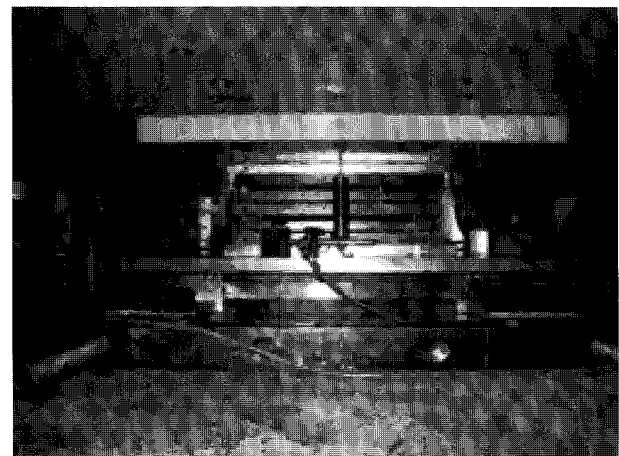


그림 6 성능 시험 과정 및 장비사양

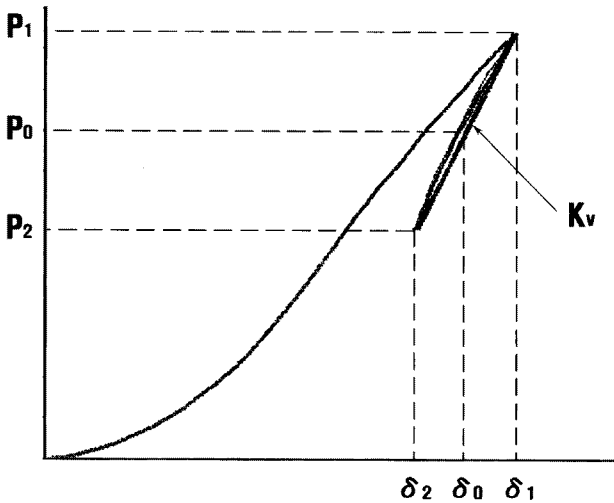


그림 7 연직강성 이력곡선

Part1 : Test Methods'에 따름

설계면압에 해당하는 하중  $P_0$ 의  $\pm 30\%$ 에 상당하는 연직 하중 진폭을 5사이클 가한 후, 3사이클 제의 이력곡선에서  $P_0 \pm 30\%$ 간의 하중( $P_1, P_2$ )과 변위( $\delta_1, \delta_2$ )를 구한다. 이때 이력곡선은 그림 7과 같이 기록되어야 하고, 하중( $P_1, P_2$ )과 변위( $\delta_1, \delta_2$ )의 측정값으로부터 식 (1)에 따라 연직강성( $K_v$ )을 구한다. 그림 8은 연직강성시험의 개념을 나타낸 그림이다.

$$K_v = \frac{P_1 - P_2}{\delta_1 - \delta_2} \quad (1)$$

### 3.2 마찰계수 시험

설계 면압에 해당하는 하중  $P_0$ 를 가한 상태에서 편 진폭 최대 미끄럼량에 해당하는 변위까지 연속 3사이클의 반복시험을 수행하고 장치가 미끄럼 운동을 시작하는 하중( $P_H$ )을 구한다. 측정된 하중( $P_H$ )값으로부터 아래의 식 (2)와 같이 마찰계수( $\mu$ )를 계산한다. 그림 9는 마찰계수 시험의 개념을 나타낸 그림이다.

$$\mu = \frac{P_H}{P_0} \quad (2)$$

시험 절차는 아래와 같다.

- 1) 롤러 × 17.5ton의 수직하중을 재하
- 2) 최대수평변위를  $\pm 100\text{mm}$ 로 하고 5구간( $\pm 20, \pm 40, \pm 60, \pm 80, \pm 100$ )으로 분할하여 각 구간에 대해 3회씩 왕복
- 3) 수평변위를 가하며 이때의 수평하중-변위관계를 기록한다.
- 4) 마찰계수를 구한다.

롤러 1개당 17.5TON의 수직하중

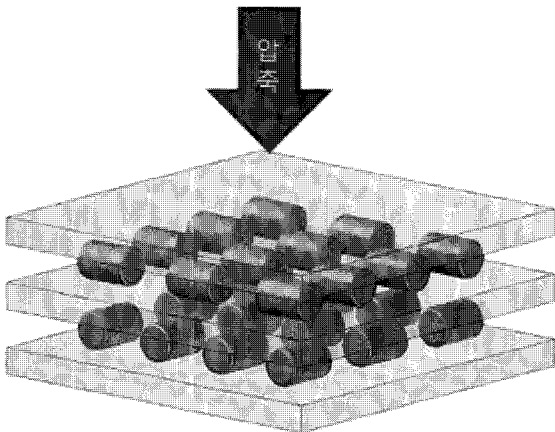


그림 8 연직강성시험 개념도

### 3.1 연직강성 시험

ISO 22762-1 'Elastomeric seismic-protecting isolators

롤러 1개당 17.5TON의 수직하중

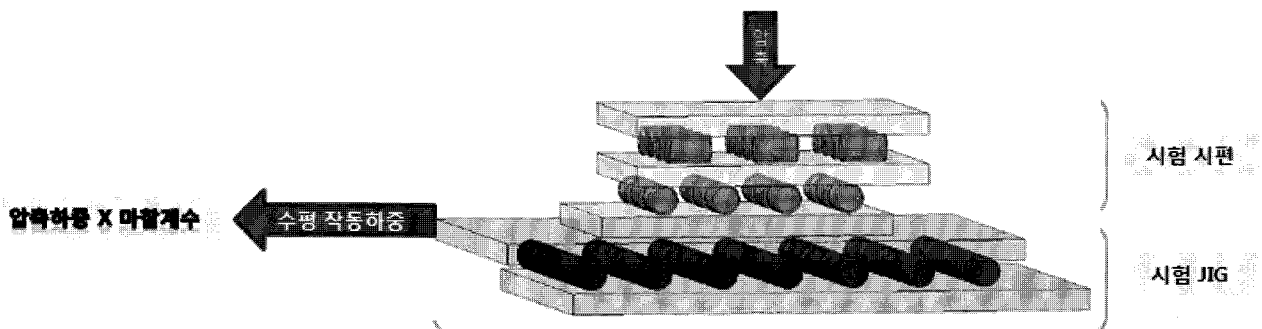


그림 9 마찰시험 개념도

### 4. 시험결과

그림 10과 그림 11은 각각 연직하중과 마찰계수에 대한 시험결과를 나타낸 그림으로 시험체의 연직강성과 마찰계수는 안정된 이력 특성을 보여주고 있다. 연직강성은 스틸 제품이라 매우 높은 값을 나타내었고, 마찰계수의 경우 극히 적은 마찰계수 값을 얻을 수 있었다.

#### 연직하중

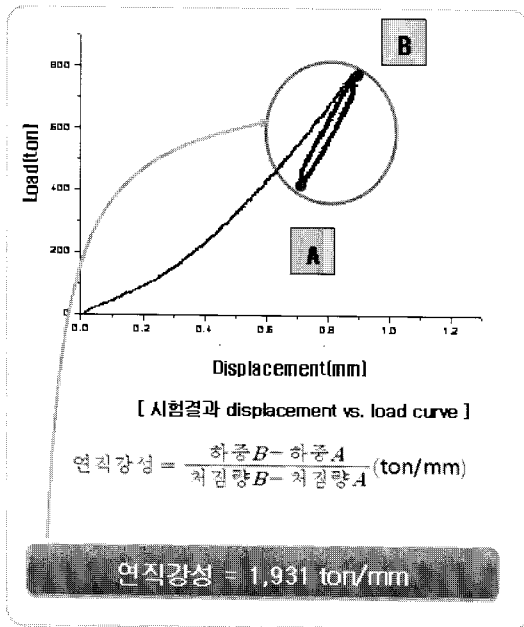


그림 10 600ton형 IRB 연직강성

#### 마찰계수

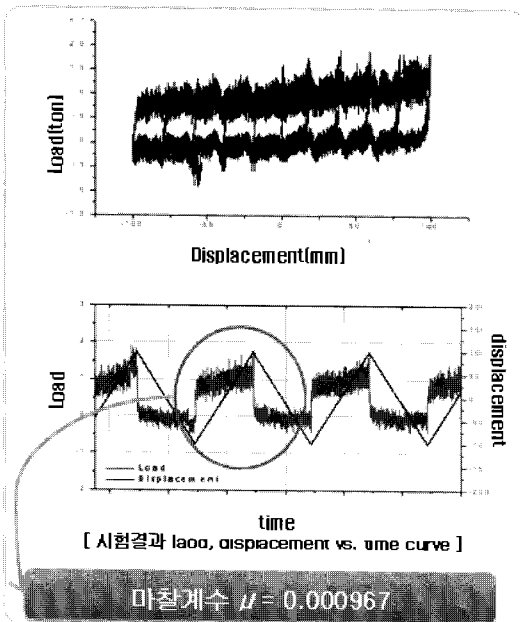


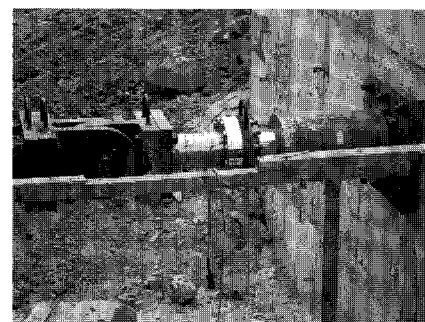
그림 11 600ton형 IRB 마찰계수

### 5. 적용 사례

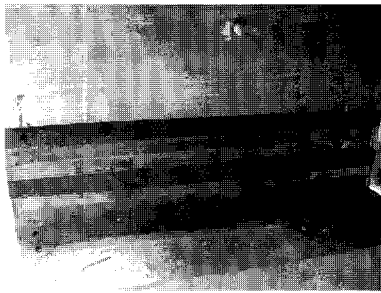
충남 서산 주공아파트 복지관(그림 12)에 적용된 사례가 있으며, 이 건물은 국내에서는 처음으로 자체 기술력에 의해 면진설계, 시공된 건물이다. 이 건물에는 복합 면진시스템이 적용되었는데 그 하나는 천연고무를 사용한 적층고무 베어링(NRB)이며, 나머지 하나는 일본의 슬라이딩 베어링(BSL)과 그와 동일한 성능을 지닌 IRB(Isolation Roller Bearing)로서 순수 국내기술로 제작된 면진장치인 IRB의 시험 적용의 의미를 가지고 있다.

설치 후 건물의 양쪽 끝의 기둥에 유압 실린더를 설치하여 이동시켜 성능을 검증하였고, 시험 전후의 상태를 비교하였다. 전단력은 약 57ton, 이동거리는 15cm, 이동속도는 약 2mm/min이었다. 그림 13은 가압에 의한 건물의 이동 전후의 상태를 보여주는 사진이다.

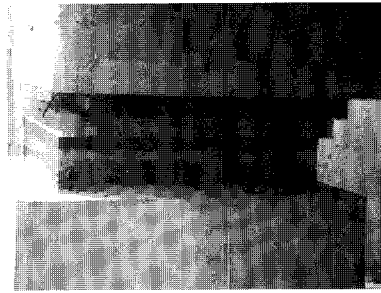
실험은 최대 수평변위의 약 60%에 이르는 변위에 이르기까지 변위조절방식(Displacement control)에 의해 재하(Loading)와 제하(Unloading)에 의한 가력실험으로 실시되었다. 실험이 종료되기까지 면진 상·하 부재의 어느 부분에서도 균열이 관측되지 않았으며, 이러한 사실은 비록 건물이 설계변위의 60%밖에 변형을 경험하지 않았지만 지진 시 본 건물은 안전하게 거동할 것이라는 사실을 뒷받침해 준다.



〈유압장치〉  
그림 12 IRB 적용사례



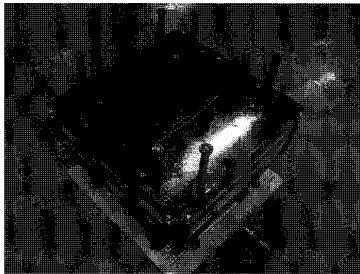
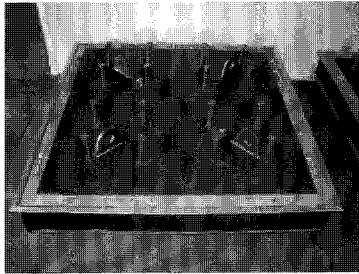
〈건축 면진용 IRB 시험 전〉



〈건축 면진용 IRB 이동 후〉

그림 13 건축 면진용 IRB 시험 전·후

표 1 적용 IRB와 유사성능의 SBB 성능비교

	IRB	일본 다이니믹주식회사 SBB
제품사진		
제품타입	IRB200~IRB2000	SBB0202~SBB3636
구동체	φ40-60mm 롤러	50.8mm의 볼
전동체수	(3×4)~(10×12)개의 2단구조 요구시 증가 및 가변가능	(2×2)~(36×36)
장기지지 하중	롤러 하나당 17.5ton	볼 하나당 1.5ton
연직강성	롤러 하나당 30ton/mm	볼 하나당 6ton/mm
마찰계수	0.00254	0.003
stroke	±1000 이내에서 선택가능	±1000 이내에서 선택가능

## 6. 제품 비교

건축 면진용 IRB(Isolation Roller Bearing)는 한국산업 기술시험원을 통해 그 신뢰성을 인정받았으며, 해외선진 제품과 비교 평가에서도 연직강성, 마찰계수, 장기지지하중 등 성능에서 우수함을 보여주었다.

일본의 구름면진장치인 SBB에 비해 동일 공간에서 10 배의 장기지지하중과 동일 마찰계수에서 5배나 높은 연직 강성을 가지고 있다(표 1 참조).

## 7. 향후 전망

국내의 주요시설물(원자력 설비, LNG탱크, 병원, 미술관 등)에 대한 지진대비가 매우 취약한 상태로 향후 보완이 시급하며, 통신 및 전산장비, 정부의 주요시설, 국가 문화재 등 소형기기면진에 대한 수요도 증가하고 있다.


뿐만 아니라 트라움하우스 III, 김포 신곡 현대아파트 등 고가의 주택은 이미 면진 건축된 상태이고 동일하이빌의

미아리 주상복합 아파트나, 일산의 고급빌라 등에는 면진 건축이 예정되어 있다. 이와 같이 삶의 질이 향상됨에 따라 안전에 대한 욕구 증가로 건축물에 안정성을 높이는 설계가 향후 더욱 증가할 것으로 예상된다.

또한 국내 건축물 내진 설계기준이 점점 강화되고 있어 향후 면진의 수요는 폭발적으로 늘어날 것으로 예상된다.

건축 면진용 IRB는 롤러를 전동체로 사용한 국내 최초 구름 방식 면진제품으로서 해외면진제품에도 뒤지지 않는 성능을 보여주고 있고 향후 추가적인 품질개선 및 시험적용을 통하여 제품으로서의 신뢰성만 확보 된다면 다양한 면진 건축물에 적용될 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

면진기법 시험적용 및 성과분석 / 2005 대한주택공사  
면진제진협회지 Vol.1 No.2 March 2006 

[담당: 이재철, 편집위원]