

## 振動 防止 및 制御

(Base Isolation and Vibration Control System)

조 순 호\*  
Cho, Soon Ho

### 1. 序 論

일반적인 내진설계의 접근방법은 구조물을 지진력에 저항하도록 설계하는 것이지만, 또하나의 상반된 접근방법은 상부구조물을 하부구조물로부터 분리시켜(Base Isolated) 하부구조로부터 상부구조에 전달되는 진동 혹은 지진력의 크기를 감소시키거나, 차단함으로써 향상된 구조물의 안전성을 확보하는 것이다(그림 1). 지진 발생이 매우 빈번한 일본에서는 후자의 접근방법이—현재는 전통적인 내진 설계방법 보다 5%—10% 비싼 초기 공사비를 나타내고 있지만—구조물의 안정성을 더욱 증가시키고 지진으로 인한 피해량을 최소화함으로써 건물의 수명기간 동안 보수비가 감소되어 결과적으로는 경제성을 성취할 수 있다는 이유로 이에 대한 연구 및 적용이 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 경향은 최근 몇년간의 State Univ. of New York, Buffalo을 중심으로한 미국의 지진 연구결과에서도 찾아볼 수 있다. Base Isolation 시스템을 적용한 내진설계방법은 상기에 지적한 이유 이외에도, 특별히 진동에 민감한 기계를 포함하는 컴퓨터 제조공장 및 사무실, 군의 명령센터, 손상되었을시 극도의 인명 피해가 예상되는 중요 용도의 공공시설물 및 문화재를 보관하는 박물관등에 널리 적용되고 있어 그 효용성을 충분히 인정받고 있다.

Base Isolation에 대한 미국의 연구는 1970년 중반경 Univ. of Berkeley의 EERC(Earthquake Engineering Research Center)를 중심으로 시작되었으나, 1985년 San Bernadio군 소재 Foothill Communities Law and Justice Center 건물(4층)에 탄성중합체형 진동방지 장치를 실제 적용하기까지 별다른 진전을 보이지 않다가 최근 2—3년전부터 이에 대한 관심이 새롭게 부각된 반면, 일본의 연구는 1970년 후반기에 미온적으로 출발한 이래 1982년 Yachiyo시 소재 2층 주택건물에 고무질 Bearing형 진동방지 장치의 적용을 시작으로, 1986년에서 1987년 사이에 대규모 건물들에 본격적으로 적용되었다. 현재, 미국은 10개의 방진장치를 설치한 건물 및 교량구조물을 보유하고 있는 반면, 일본은 40개의 구조물에 이미 방진장치를 적용하였거나 적용중에 있으며, 주로 산업체(Shimizu, Taisei, Kajima등)를 중심으로 연간

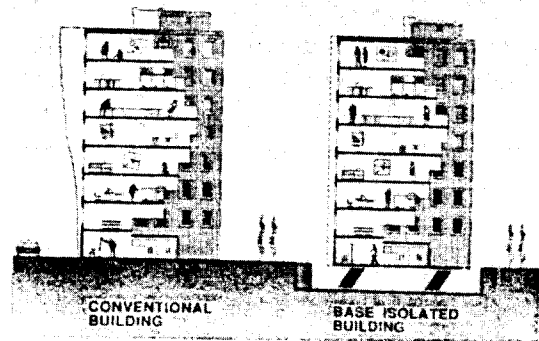


그림 1. 방진 장치가 설치된 건물의 진동모드

\* 대한주택공사, 주택연구소, 선임연구원

2500만불에 해당하는 연구비를 집중 투자하고 있다. 이외에도, New Zealand 및 France를 비롯한 유럽에서도 독자 Base Isolation System을 개발하여 이미 건물 및 교량 구조물에 실제 적용하고 있다.

한편, 나날이 요구되는 구조재료의 경량화 및 구조물의 초고층화 추세는 고강도 경량재료를 사용한 초고층건물(Super High-Rise Building)의 출현을 가져왔고, 이러한 초고층경량구조물은 설계의 초기단계에서부터 풍하중 및 약진동에 대한 수평이동의 조정이 세심하게 취급될 것을 요구하고 있다. 이러한 경우, Base Isolation 기술과 동일한 시각에서 진동제어(Vibration Control)에 관한 제반기술은 설계시 요구되는 최소한의 수평변위를 확보하는데 필수불가결한 접근방법이 된다.

따라서, 본기사는 이러한 진동방지 및 제어기술의 중요성을 인식하고 이에 수반되는 동역학적 이론 및 기술에 대한 최근 연구 실적과 동향, 그리고 특히 건물에 적용예가 많은 일본의 진동방지 및 제어 장치들을 중심으로 실제 상업제품으로 완성된 것들의 특성을 조사하며, 또한 이의 구조 해석을 위해 각종형태별 진동방지 장치의 해석 모델 및 경험론적으로 제시하고 있는 설계지침에 대하여 알아보고자 한다.

## 2. 振動 防止 装置(Base Isolation)

상·하부구조물 사이에 위치하여 하부구조에서 상부구조로(혹은 이와 반대 상황) 전달되는 진동 및 지진력의 크기를 감소시키는 역할을 하는 방진 장치에 기본적으로 요구되는 기계적 성능은 수평연성(Horizontal Flexibility)과 에너지 소산능력(Energy Dissipative Capacity)이다. 따라서, 방진장치는 이를 만족시키는 방법에 따라 크게 2가지 형태 i) 탄성중합체형 ii) 미끄럼형으로 구분되지만, 때로는 이러한 두가지 형태가 복합되어 사용되기도 하고, Macro하게 구조물의 일부분이 진동방지장치 작용을 하도록 설계되기도 한다.

탄성중합체형 진동방지 장치는 일반적으로 적층고무질(Laminated Rubber) Beraring에 여러형태의

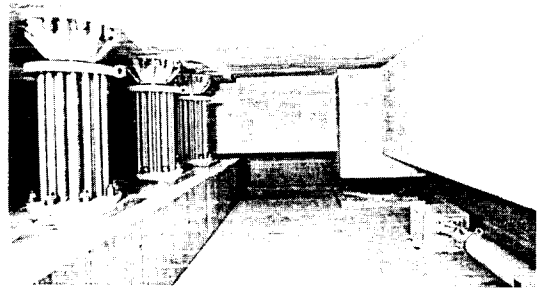


그림 2. 탄성중합체형(Rubber Bearing, Steel & Oil Damper)

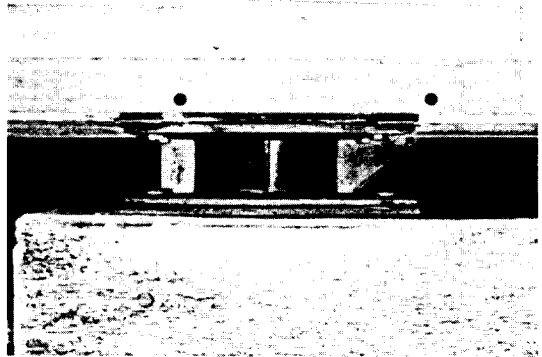
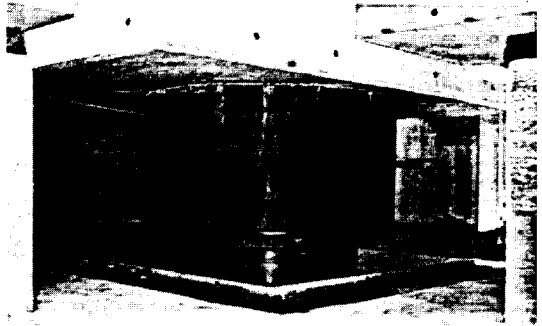


그림 3. 미끄럼형 Bearing 및 복원 스프링(TASS)

Damper를 첨가하여 구성한다. 여기서 적층고무질 Bearing은 얇은 철판(Thin Steel Sheet)과 고무질(Rubber)이 번갈아 가며 여러개의 층을 구성하고, 이에 고온에서 고무질을 경화처리하여 서로 긴결한 형태를 취하고 있어 수평연성 뿐만아니라 충분한 수직하중 지지능력을 지니고 있다. 지진하중 작용시, 이러한 적층고무질 Bearing은 구조물

의 고유주기를 연장시키는 역할을 하며(대부분 1sec 이상, 이는 대부분의 지진이 1sec 이상에서는 지레벨의 가속도를 나타내기 때문이다), 여러 Damper들은 에너지를 흡수하는 역할을 수행한다. 그림 2 참조.

미끄럼형 진동방지 장치는 Teflon Coated Slider, Bearing Plate 등으로 구성되며 Slider의 미끄럼 마찰력에 의해 에너지가 소산된다. 이러한 형태의 진동방지 장치는 지진 작용시 상부구조물을 하부구조물로부터 수평 분리시키는 동시에 수직방향으로 상부구조물을 지지한다. 일반적으로 변형후 원래의 위치로 구조물을 환원하기 위한 Rubber Cylinder 형태의 복원 스프링 장치가 필요하다. 그림 3 참조.

### 2.1 탄성 중합체형(Elastomeric Bearing)

탄성중합체형 진동방지 장치에서 수평연성은 얇은 고무판과 철판 혹은 고무로 싸여진 철판이 번갈아 가며 놓여진 적층탄성중합체 Bearing(LRB)에 의해 제공되며 각종 Damper의 에너지 소산 방법에 따라 몇가지 형태로 분류된다.

LCR(Lead-Core Rubber Bearing)형은 에너지소산능력이 고무질(Rubber Core)내에 삽입된 Lead-Plug에 의해 제공되며, 탄소성분을 증가시킨 고무질을 사용한 경우는 고무질 자체의 고유한 고성능 감쇠능력(High Damping Capacity)에 의해 에너지가 소산되며(그림 4), 또한 이를 위해 Oil의 점성저항(Viscous Resistance)을 이용한 Oil Damper 혹은 Steel의 항복 이력특성(Hysteretic Damping)을 이용한 Steel Damper를 단독 혹은



그림 4. High Damping Rubber Bearing(HDR)

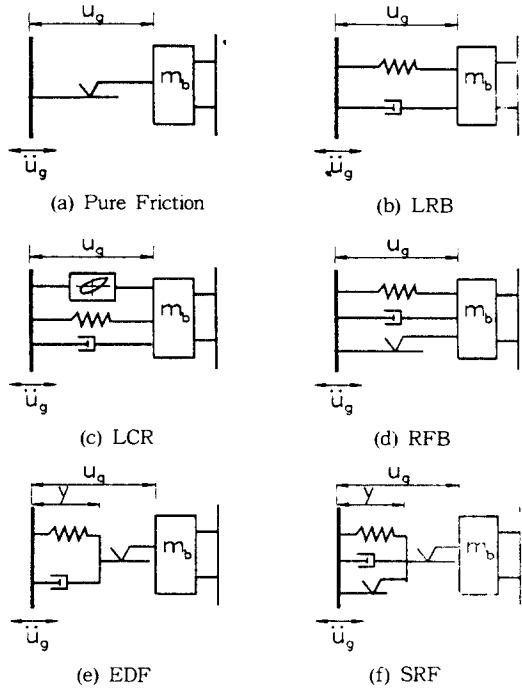


그림 5. 해석 모델

혼합된 형태로 사용한다. 그림 5는 이러한 형태의 진동방지 장치의 수학적 모델을 나타내며, LCR의 경우 Lead-Core는 Hysteretic Damper 역할을 하게되며, 스프링과 Dashpot이 병렬로 연결된 구조적 거동을 나타낸다(그림 5(c)). 또한 적층고무질 Bearing 대신에 나선형 스프링과 점성 Damper를 사용하여 동일한 구조적 성능을 유도할 수 있다.

### 2.2 미끄럼형(Sliding Bearing)

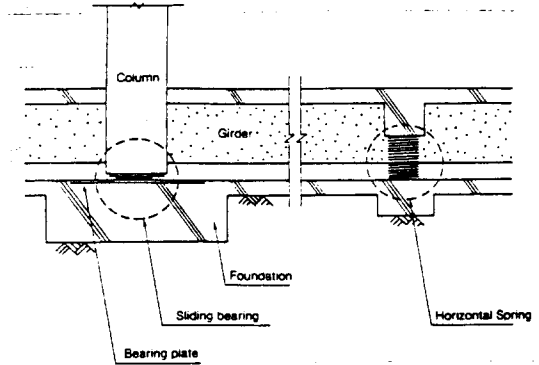
미끄럼형 진동방지 장치는 어떤종류의 주파수 성분(Frequency Content) 및 변위폭(Amplitude)을 가진 지진작용에 대해서도 일정한 응답을 나타내며 공진 주파수(Resonance Frequency)를 포함하지 않는것이 특성이며, 단지 미끄럼 마찰력에 해당하는 크기의 지진력만이 하부구조로부터 상부구조물에 전달된다.

RFB(Resilient Friction Base Isolator)형은 Teflon 으로 Coating된 판들의 적층구조와 그

중심부에 고무질(Rubber-Core)을 포함하고 있어 판과 판사이의 마찰력에 의해 에너지가 소산된다. 이러한 형태의 진동방지 기구는 마찰력, 감쇠기구 및 복원 스프링이 병렬로 연결된 구조 거동을 나타낸다(그림 5(d)).

또 하나의 중요한 구조거동을 내포하는 미끄럼형 진동방지 장치로는 France의 EDF(Electicite de France)에서 강지진 지역에 위치하는 원자력 발전소 구조물을 위해 개발한 형태이다. 일반적으로 발전소 구조물은 광활한 대규모의 콘크리트 바닥판위에 건설되므로, 이러한 바닥판은 지반에 곧바로 접하는 기초위에 설치된 수백개의 진동방지 장치들에 의해 지지되도록 설계될 수 있다. EDF는 구조물에 부착된 철판과 미끄럼작용을 하는 상부의 Lead-Bronze판 및 그 하부에 네오프린 패드(Neoprene Pad)의 적층구조로 구성되어 있어, 본질적으로는 탄성중합체 Bearing과 일련의 마찰판의 혼합된 구조적 거동을 나타낸다. 중요한 특성의 하나는 지반가속도가 적은 지진에 대해서는 네오프린패드의 수평 연성이 진동을 방지하는 역할을 하며, 강진에 대해서는 네오프린패드 작용 외에 미끄럼 작용이 부가적으로 진동의 크기를 저감시킨다. 그림 5(e) 및 6 참조.

한편, 일본에서 개발된 TASS시스템(Tasei Shake Suppression System)도 RFB와 유사한 구조적 거동을 나타낸다(그림 6). 미끄럼 Bearing, Bearing Plate, 수평방향 스프링 등으로 구성되어 있으며, 미끄럼 Bearing은 상부구조의 기둥하부에 부착되고 수평방향 스프링은 상부구조와 하부구조



Composition of base isolation devices

그림 7. TASS의 구성형태

사이에 설치되어 이 두구조를 연결한다(그림 7). 또한 미끄럼 Bearing은 PTFE(Poly Tetra Fluoro Ethelene)판으로 제작된 Rigid형의 미끄럼 Bearing과 PTFE판이 적층 고무질(Laminated Chloroprene Rubber) Bearing의 하부에 부착된 탄성 미끄럼 Bearing형으로 구분된다. 수평 방향 스프링은 Chloroprene Rubber Block으로 제작되며 이는 미끄러짐에 의한 수평변위량을 감소시킨다.

이외에, 또 다른형태의 Base Isolator는 EDF의 탄성중합체 Bearing을 RFB Unit과 대체하여 EDF와 RFB의 장점을 혼합한 SRF(Sliding Resilient Friction Base Isolator)형이다. 즉 RFB 상부의 표면을 마찰판으로 대체하여 EDF와 유사한 구조적 거동을 유도할 수 있다. 그 결과, 약한 지진에 대해서는 RFB Unit으로 작용하며, 강한 지진에 대해서는 상부 마찰판이 미끄럼 작용을

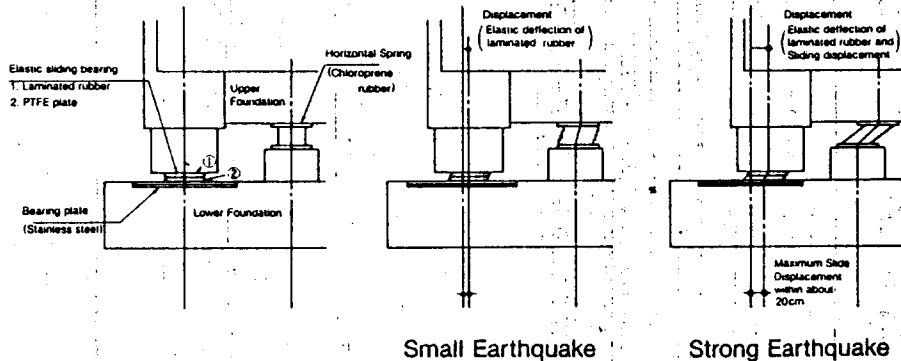


그림 6. TASS 시스템의 거동

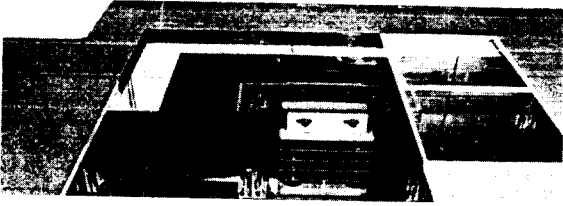


그림 8. 바닥 진동방지장치(MSHD)

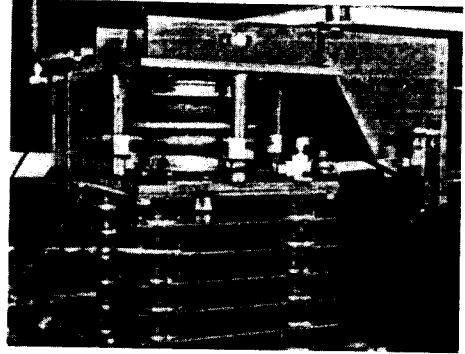


그림 9. 3-D 진동방지장치

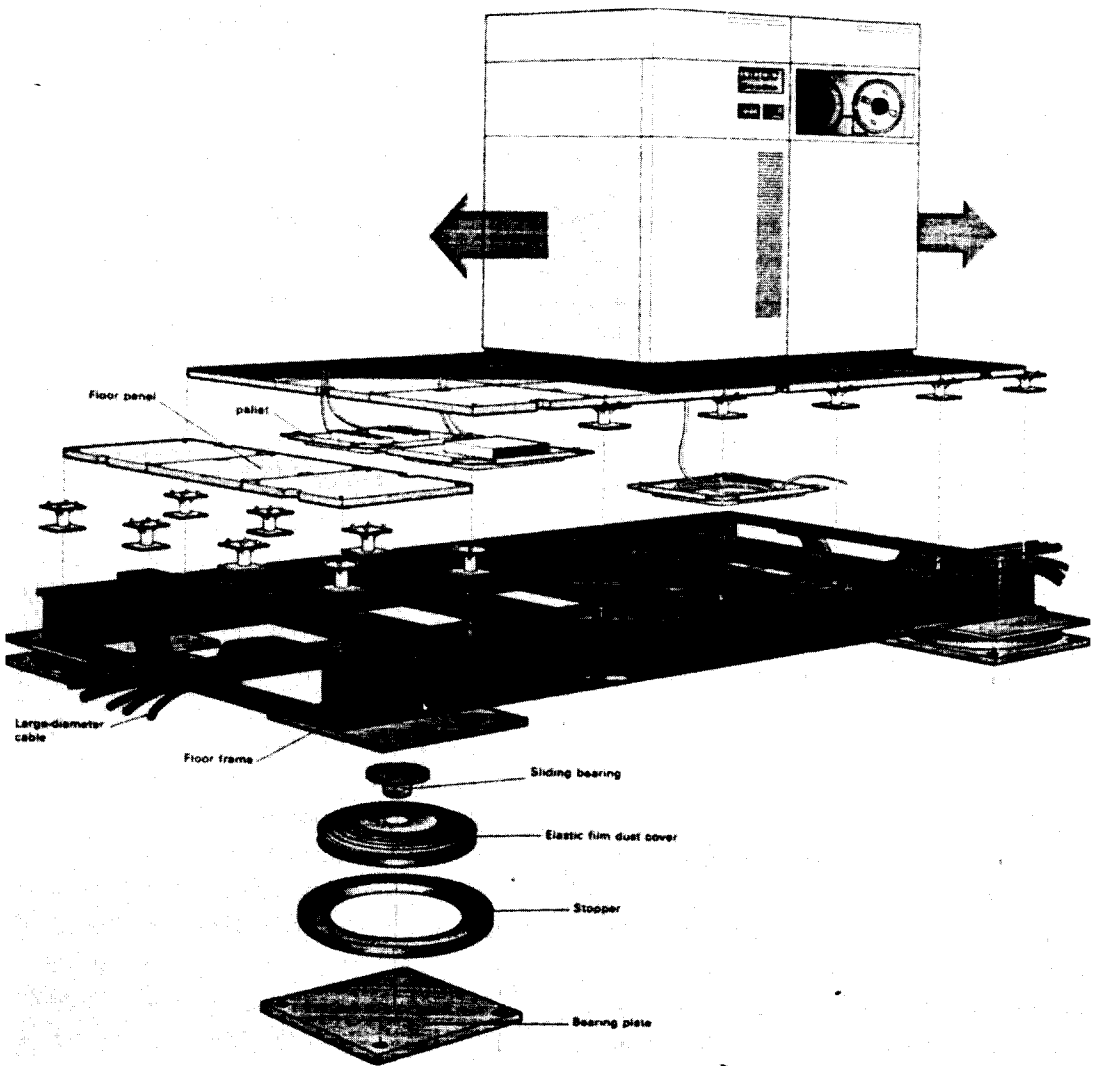


그림 10. TASS-F의 구성형태

발생시킨다. 그림 5(f) 참조.

지금까지는 건물전체를 위한 진동방지 장치들에 대하여서만 논의하였는데, 이러한 장치들은 기본 원리의 변화없이 건물의 특별한 일부분, 즉 바닥판의 진동방지를 위해서도 사용될 수 있다.

이러한 목적을 위해 Shimizu에서 개발된 Multi-Stage High Damping Rubber Bearing(MSHD)은 지진발생시 컴퓨터와 같은 중요한 기기를 지지하는 바닥판을 진동으로 보호한다(그림 8). 이 MSHD는 전체건물의 진동방지를 위해 개발된 HDR Bearing을 변형 축소한 것으로 Multi-Stage 로 수직방향의 바닥판을 지지할 뿐 아니라 수평방향으로도 안정된 변형능력을 보유하고 있다. 그림 9는 수평방향 뿐만 아니라 수직방향 Base Isolation 기능도 포함된 3-D 진동방지 장치로서 MSHD와 Air Cushion으로 구성되어 있다.

또한 미끄럼형 바닥 진동방지 장치로서 Taisei에서 개발된 TASS-F(TASS Floor)는 Slider와 Bearing Plate사이의 미끄러짐 작용에 의해 진동에 의한 충격이 최소화 되며, 동시에 마찰에 의해 소산되는 에너지는 소량의 충격만을 바닥판에 전달하도록 한다(그림 10). 3축방향 진동대 실험결과, TASS-F는 600Gal로 Scale-Up된 입력지진을 150Gal로 감소시키며 대략 15cm의 수평변위를 나타낸다. 또한 TASS-F는 사용되는 Air-Conditioning 방법 및 케이블의 크기에 따라 다양한 Profile 및 설치방법을 제시하고 있다.

### 2.3 구조체형(Dynamic Absorption Structuring Method)

그림 11은 Univ. of Tokyo에서 개발된 것으로 구조체의 하부층을 진동방지장치로 설계한 건물의 예를 나타낸다. 지진하중 작용시, 진동방지 장치로 설계된 최하부층에는 입력 지진 에너지가 집중되는 반면, 다른층은 탄성 거동을 나타낸다. 이러한 구조체형 진동방지 장치는 구조용 철골부재의 에너지 흡수능력을 최대한으로 이용하여, 강한(High Rigidity) 부재는 에너지를 흡수할 목적으로, 연한(Low Rigidity) 부재는 항복된 변형을 회복하는데 각각 사용한다.

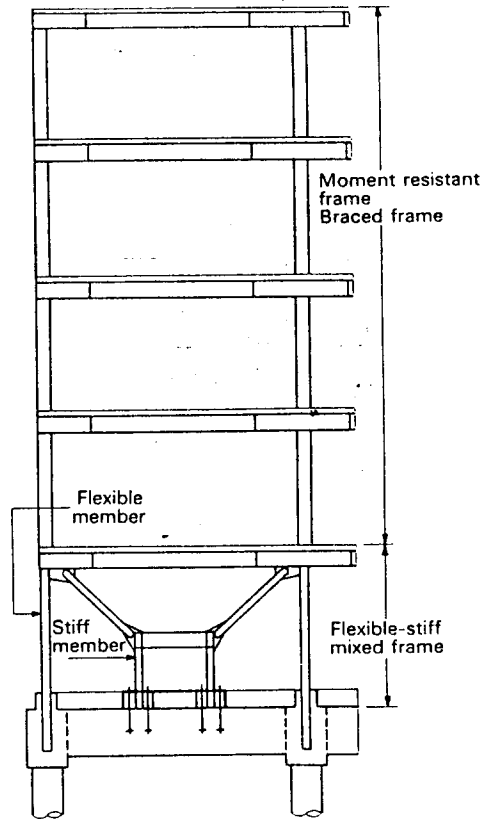


그림 11. 구조체형 진동방지장치

### 2.4 性能實驗 및 適用例

Base Isolated된 구조물의 안전 및 신뢰성을 평가하기 위한 진동방지 장치의 성능기준에 대해서는 그 정의가 분명하지 않으나 일반적으로 다음의 기준이 사용되고 있다. 물론 i)과 ii)는 서로 상충됨에 주의하라.

- i) Acceleration Transmissibility
- ii) Limited Relative Displacement
- iii) Relative Rigidity of Structure

이를 위해 Shimizu는 Sendai의 Tohoku Univ. 내에 동일한 조건의 한쌍의 3층 콘크리트조 건물을 건설하여 그중 하나는 기존의 방법으로, 다른 하나는 Base Isolation을 적용하여 그 효용성을 평가하였다. 진동방지 장치로서 처음에는 LRB와 Oil Damper가 사용되었으나, 후에 이는 HDR

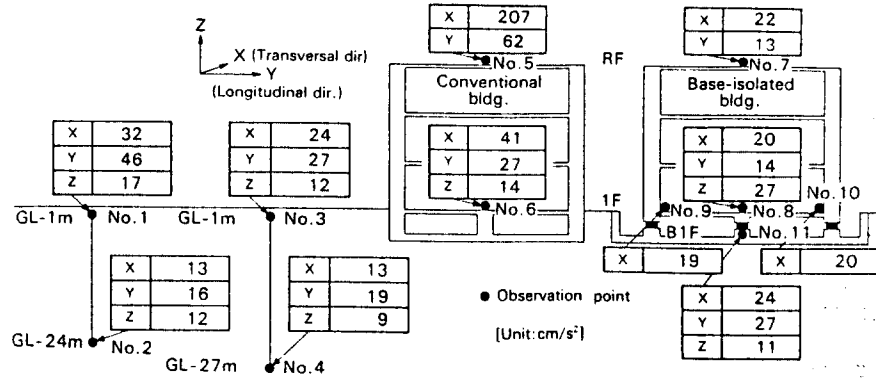


그림 12. 최대가속도 분포

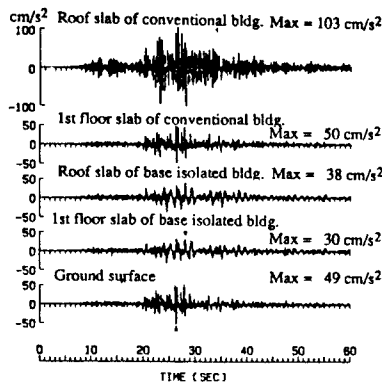


그림 13. 관측 지진에 대한 시차력응답

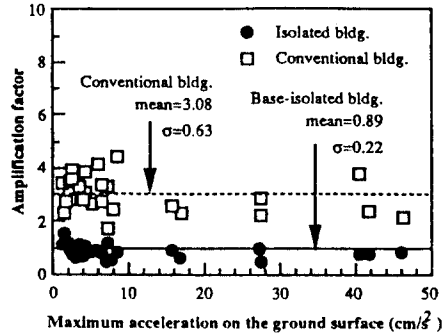
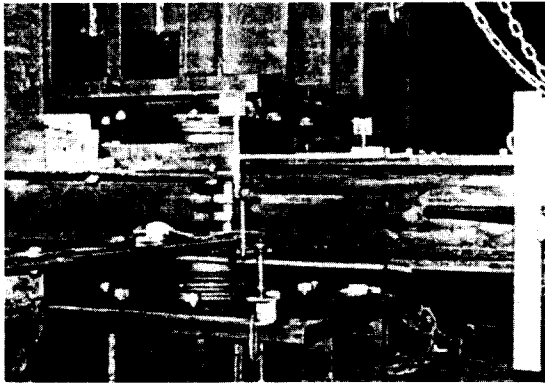


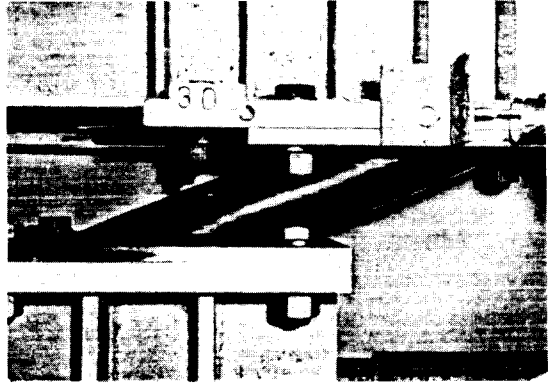
그림 14. 가속도 증폭계수

로 교체되었다. 여러 형태의 실험 및 지진응답이 관측되었으며, 또한 축소된 모델에 대해서도 진동대 실험이 수행되어졌다. 그림 12와 13은 대표적인 지진응답의 관측 결과이다. 가속도가  $49\text{cm/sec}^2$ 인 지진이 입력되었을 때 기존방식으로 설계된 건물의 최상층의 가속도는  $103\text{cm/sec}^2$ 으로 증폭된 데 반하여, 진동방지 장치가 설치된 건물의 최상층의 가속도는  $38\text{cm/sec}^2$ 로서 기존방식 건물의 1/3에 해당된다. 또한 30개의 입력 지진 작용시 LBR과 Oil Damper를 사용한 건물과 기존방식 건물의 입력 지진가속도에 대한 지진응답비는 그림 14와 같다. LBR 및 Oil Damper가 사용된 건물은 입력 지진에 관계없이 대략 1.0의 증폭비를 나타내고 있으나, 기존 방식의 건물은 증폭비가 큰값으로 분산됨을 알 수 있다.

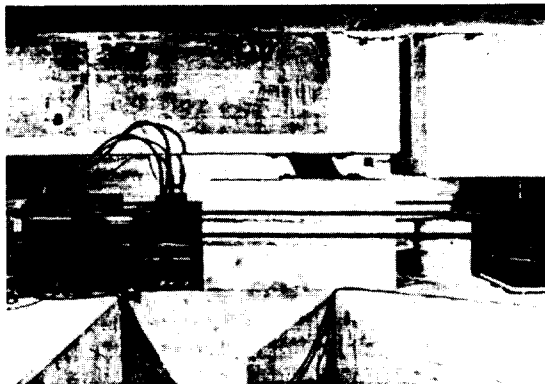
Taisei는 미끄럼형 진동방지 장치인 TASS 시스템의 성능 평가를 위해 일련의 실험을 수행하였다 (그림 15). 이는 마찰계수 및 수평강성을 결정하기 위한 미끄럼 Bearing의 동적실험, 수직강성 및 극한강도 결정을 위한 미끄럼 Bearing의 압축 실험 및 수평방향 스프링의 수평방향 변형능력을 조사하기 위한 정적실험등을 포함한다. 그 후 TASS 시스템이 적용된 실제 건물의 효용성을 평가하기 위하여 Oil Jack에 의한 미끄럼성능의 정적실험, 미끄럼이 배제되었을시 건물의 동적 특성을 결정하기 위한 강제진동실험 및 여러형태의 지진과 입력에 의한 건물의 지진응답을 관측하였다.



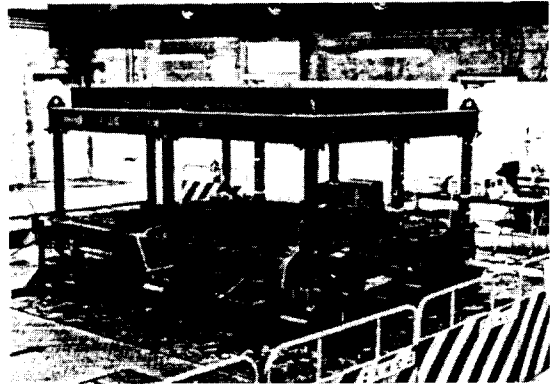
Dynamic loading test of sliding bearings



Static loading test of horizontal spring



Static loading test of a real building



Shaking table test of scaled base isolated structures

그림 15. TASS 시스템의 성능실험

### 3. 振動制御装置(Vibration Control Dampers)

강한 지진이 발생하였을 때 구조물의 안전성이 요구되는 것과 마찬가지로, 미진이나 풍하중이 작용할 때도 이로 인해 발생하는 구조물의 진동에 대한 대책이 요구된다. 이를 위해 현재까지 여러 형태의 진동제어장치가 제안되었으며, 이들은 기본적으로 수동형과 능동형으로 구분된다. TMD (Tuned Mass Damper, TLD(Tuned Liquid Damper), VED(Viscoelastic Damper) 등이 수동형에 속하고, HMD(Hybrid Mass Damper)등은 능동형으로 분류된다.

#### 3.1 수동형(Passive System)

##### Tuned Mass Damper(TMD)

TMD는 스프링, 질량(Mass 혹은 Weight) 및 Damping 기구(Mechanism)등으로 구성되며 시스템의 주파수를 건물의 주요 주파수와 일치시킴으로서, 진동발생시 중량은 공진 현상을 나타내며 건물의 이동에 반대하는 방향으로 힘을 유발하여 진동을 제어한다.

그림 16은 MSRB(Multi-Stage Rubber Bearing)를 사용한 TMD로서 MSRB 스프링, 질량(대량 건물 무게의 1/300), Damper(점성형)등으로 구성되어 있으며 시스템의 중심에 위치한 중량체 밑에 Air Brake가 설치되어 만약 용량이 초과되는 진동 작용으로 TMD 장치에 과대한 변형이 발생하면 자동적으로 그 기능이 중지된다. MSRB를 사용하



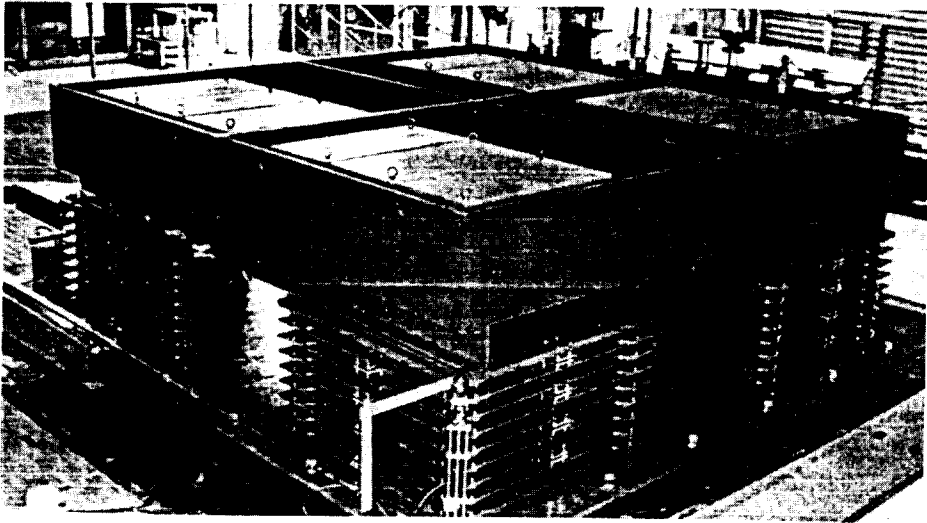
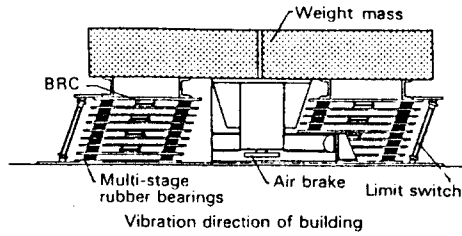


그림 16. Tuned Mass Damper

여 크기를 축소한 형태이므로 협소한 장소에도 설치가능하고 설치 및 조립이 용이 하며 또한 시공성이 우수하다. 이러한 장치를 설치한 50층 건물의 풍하중에 대한 응답해석 결과에 의하면, TMD를 사용함으로써 최대 응답치가 거의 1/2으로 감소됨을 알 수 있다. 현재 이러한 장치는 Nihon Sekkei사에 의해 설계된 Nagasaki소재 Huis Ten Bosch 타워에 설치되어 그 효용성에 대한 지속적인 검증 실험을 수행하고 있다.

• Tuned Liquid Damper(TLD)

기본적인 작동 원리는 TMD와 동일하나, TLD는 건물의 이동이 적은 경우에 특히 효과적인 진동제어 장치이다. 콘테이너속에 채운 물은 콘테이너의 크기와 물의 깊이(Water Depth)에 의해 결정된 고유주기에서의 진동특성을 지닌다(Sloshing Phenomenon). 따라서 이러한 Sloshing 운동의 주기와 건물의 주기가 일치되도록 TLD를

설치하여 TMD와 동일한 효과를 유도해낼 수 있다. 이러한 진동제어 장치는 아크릴 혹은 FRP로 제작된 콘테이너와 물로 구성되기 때문에 제작 및 설치가 매우 용이하며, 콘테이너의 크기와 물의 깊이를 조정하여 고유주기를 쉽게 변화시킬 수 있다. 특히 경량의 타워구조물에 작용하는 풍하중에 의한 진동을 제어하는데 효과적이다. Yokohama에 소재한 106m 높이 Marine 타워의 최상부층에는 강풍 작용시 구조물의 수평이동을 제어하기 위해, 직경 60cm 높이 45cm의 원통형 Polyethylene 콘테이너가 30개 설치되어 있으며, 그림 17과 같이 콘테이너의 내부에는 6개의 층으로 나누어져 있다. 채워진 물의 전체 중량은 1.6 tonf 이며 이는 전체 타워 구조물 무게의 0.3%에 해당된다. 이러한 형태의 TLD(9 Layers, 30 Units)는 또한 Shin Yokohama Price Hotel-높이 149.4m 직경 38.2m 원통형 건물에도 설치되

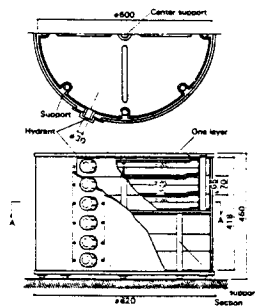
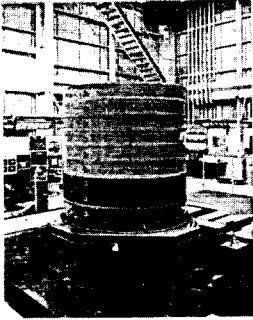


그림 17. Tuned Liquid Damper

어 있다.

• Viscoelastic Damper(VED)

점탄성 재료는 석유아스팔트(Petroleum Asphalt) 와 Thermo-Plastic 고무질등의 주원료에 고온을 가하여 혼합함으로써 제작되며, 이것은 BRC(Bitumen Rubber Compound)라 불리운다. BRC는 어떠한 두께의 판형태라도 제작가능하며 강한 접착성을 지니고 있어 전단변형에 대한 다양한 전단저항 특성을 보유하고 있다. 그림 18은 대표적인 VED로서 철판과 점탄성판이 하나씩 번갈아 가며 적층구조를 형성하고 있다. 이러한 Damper는 건물의 전단벽 일부분을 형성하여 지진 및 풍하중 작용시 건물에 발생하는 진동에너지를 전단변형으로 흡수하여 진동의 크기를 저감시킨다. Shibaura에 소재한 Seavans South-Tower 건물은 매층마다 철판과 콘크리트 칸막이벽 사이에 이와같은 Damper가 2개씩 설치되어 있다. 또한, 그림 18은 VED가 설치된 벽체의 하중-변위 관계를 나타내고 있는데 안정된 감쇠 특성

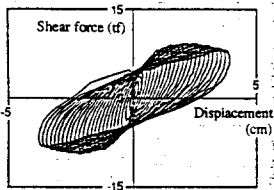
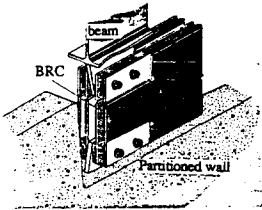


그림 18. Viscoelastic Damper

표 1. 방진장치를 적용한 주요건물(일본)

BUILDING	STORIES	DATA	ISOLATION SYSTEM
1. Yachiyodai Residence	2	1983	RB & Friction Dampers
2. Okumura Const.Tech.Ctr	4	1986	RB & Looped Steel Dampers
3. Ohbayashi Res.Inst.	5+(1)	1986	RB & Steel Bar Dampers
4. Oiles Const.Tech.Ctr	5	1986	Lead/Rubber
5. Kajima Const.Res.Inst.	2	1986	RB & Steel Cantilever Dampers
6. Nakano Apartment	4	1986	RB & Looped Steel Dampers
7. Shibuya Shimizu Building	5-(1)	1986	RB & Steel Bar Dampers
8. Tohoku Univ.Obs.Stn	3	1986	RB & Oil Dampers/HDRB
9. Elizabeth Sanders Mus.	2-(1)	1987	RB & Looped Steel Dampers
10. Takenaka Dormitory	3	1987	RB & Viscous Dampers
11. Tsukuba Mukizai Res.Inst.	1	1988	RB & Steel Bar Dampers
12. Shimizu Const. Tsuchiura Off.	4	1988	Lead/Rubber
13. Bridgestone Building	8	1988	RB & Steel Bar Dampers
14. Kumagaya Dormitory	3	1988	RB & Steel Bar Dampers
15. Minami-Koshigaya Apt.	10	1988	Lead/Rubber
16. Asano Building	7	1988	Lead/Rubber
17. Kogawa Apartment.	3	1988	Not Available
18. Tokyu Const.Sugamihara-Off.	2	1988	Not Available
19. Jingu Apartment	3	1988	Not Available
20. Taisei Office Building	4	1988	TASS Sliding System

(1): Indicates underground floors

RB: Rubber bearing

HDRB: High Damping Rubber Bearing

을 보여주고 있다. 이와같은 기본자료를 입력하여 지진에 대한 동적응답해석을 한 결과에 의하면 VED는 대략 20% 정도, 최대 응답 가속도 및 전단력을 감소시키는 것으로 보고되고 있다.

### 3.2 능동형(Active System)

#### • Hybrid Mass Damper(HMD)

능동형 진동제어 장치는 수동형에 비하여 구조물의 비틀림 운동을 제어할 수 있는 기능이 추가된 것으로 다양한 영역의 주파수를 갖는 지진 하중조건에 대하여 효과적인 시스템이다. 일반적

으로 능동형에 의해 지진응답을 감소시키기 위해서는 막대한 양의 에너지가 필요하나, 여기에서 소개하는 HMD는 단지 소량의 에너지만이 요구되는 효율적인 시스템이다. 그림 19의 HMD는 TMD 와 Actuator가 혼합된 구성형태를 취하고 있다. Actuator는 AC Servomotor 및 Bolt Screw 로 구성되며 지진작용시 비틀림 변형을 억제하는 방향으로 무게중심에 제어력을 작용시킨다. 현재 이러한 HMD 장치는 7층 타워형 철골조 건물(Shimuzu사 실험동 소재)에 설치되어 그 효용성에 대한 검증실험을 지속적으로 수행하고 있다.

### 4. 結 論

지금까지 본 기사에서는 탄성중합체 및 미끄럼형의 여러 진동방지장치 및 수동·능동형의 진동 제어장치에 대한 기본원리 및 적용예등을 소개하였다(해석 방법에 대해서는 Lin Su et. al. 1989 참조). 지진발생률이 매우 낮고 원가절감이 우선시 되는 현재의 국내 사회 통념상으로는 이러한 진동방지 및 제어 시스템을 적용하기에는 아직 시기상조이나 특수한 목적의 건물, 즉 컴퓨터 제조공장이나 컴퓨터 시설을 수용하는 군의 사령부 건물, 및 전철등의 교통시설이 진동원의 역할을 하여 영향을 미치는 구조물등에는 그 적용을 고려 해봄직하다.

현재, 이러한 진동방지 및 제진장치의 설계를 위한 정식 기준은 존재하지 않으나 그림 20은 탄성중합체형 진동방지 장치의 선택 요령을 설명하고 있으며, 널리 통용되는 일본의 설계지침은 아래와 같다.

- 토질의 액상화 현상(Soil Liquefaction)이 발생 가능한 연약지반은 피함.
- 분지형태(Basin-Shaped)의 지역은 파동 증폭 및 장주기운동에 대한 특별한 주의를 요함.
- 건물의 최대층수를 20층으로 제한하며, 편심이 없도록 함.
- 밀면 전단력 계수는 0.15보다 커야 하며 상부 구조는 연성(Ductility)을 갖도록 설계함.
- 지진강도 1(PGV=25cm/sec) - No Damage, 지진강도 2(PGV=50cm/sec) - Minor Damage,

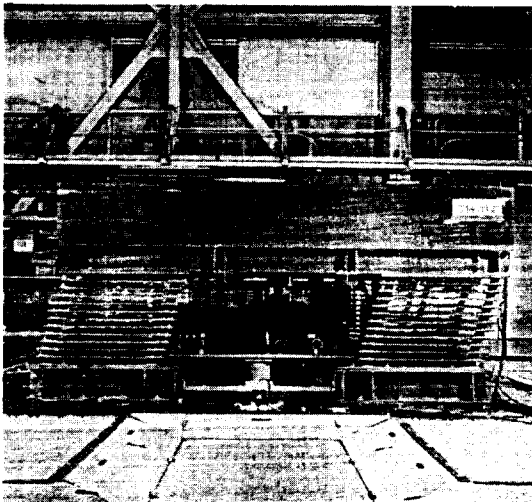


그림 19. Hybrid Mass Damper

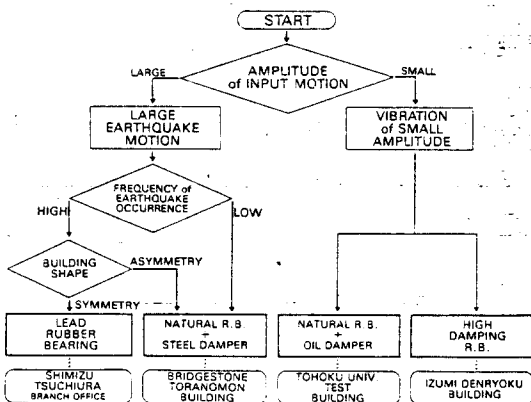


그림 20. 탄성중합체형 방진장치의 선택 요령

지진강도 3(PGV=75cm/sec) - Fail-Safe System 의 설계방침을 적용함.

- El Centro 1940 NS, Taft 1952 EW, Hachinohe 1968 NS 및 EW(장주기 운동)에 대한 시각력 해석실시.
- 탄성중합체 Bearing이 지지할 수있는 최대평균압력은 10Mpa, 전단 변형도는 평균압력의 함수로서 200% 미만으로 각각 제한함.
- 진동방지 장치의 노쇠현상 및 내화현상에 대한 검토가 요구됨.

### 참 고 문 헌

- [1] Anoop Mokha et. al., "Experimental Study of Friction-Pendulum Isolation System", Journal of Struc. Engrg., ASCE, Vol.117, Apr. 1991.
- [2] James M. Kelly, "Base Isolation in Japan, 1988", UCB/EERC-88/20, Dec. 1988.
- [3] J.M. Ferritto, "Study on Seismic Isolation of Buildings", Journal of Struc. Engrg., ASCE, Vol.117, Nov. 1991.
- [4] Lin Su et. al., "A Comparative Study of Performance of Various Base Isolation Systems, Part 1 : Shear Beam Structures", Earth. Engrg. & Struc. Dyn., Vol.118, 1989.
- [5] Satish Nagarajaiah et. al., "Nonlinear Dynamic Analysis of 3-D-Base-Isolated Structures", Journal of Struc.Engrg., ASCE, Vol.117, July 1991.
- [6] Shimizu Corp., "Base Isolation and Vibration Control Systems", 1992.
- [7] Taisei Tech. Rep., "Taisei Corp.'s Sliding Type Base Isolation System-TASS", 1992.
- [8] Taisei Tech. Rep., "Seismic Isolation Floor System by Taisei Corp.-TASS Floor", 1992.