

## 액체금속로 면진설계를 위한 지침서 개발

### Development of Guidelines for Seismic Isolation Design of LMR

유 봉\*                      구경희\*\*                      이재한\*\*\*  
Yoo, Bong                      Koo, Gyeong-Hoi                      Lee, Jae-Han

---

#### ABSTRACT

The purpose of this paper is to propose the draft guidelines of seismic isolation design of Liquid Metal Reactor (LMR) using high damping laminated rubber bearings. The scopes of guidelines include design requirements of a seismically isolated system and components, seismic isolator, isolation system, interface system between seismic isolation and non-seismic isolation part, qualification and acceptance tests of seismic isolator, seismic isolation reliability, and seismic safety and monitoring system. Proposed guidelines shall be revised to extend to general design guideline for nuclear facilities by further research and discussions.

---

#### 1. 서론

지반으로부터 전해오는 지진에너지를 충분히 흡수함으로써 지진하중에 의한 구조물 손상을 근본적으로 최소화할 수 있는 면진설계는 이미 일본을 비롯한 미국, 프랑스 등에서 건물, 병원과 주요 산업시설물에 이미 광범위하게 실용화되고 있으며 국내에서도 인천 LNG 탱크시설에 적용한 바 있다. 이러한 면진설계는 지진에 대한 구조응답을 감소시키는 획기적인 개념으로서 세계적인 주목을 받고 있다.

면진설계는 사용목적에 따라서 충분히 입증된 설계지침서에 따라서 수행될 필요가 있다. 면진설계에 있어서 면진구조물에 대한 지진설계와 해석은 기존의 내진설계법을 동일하게 적용할 수 있지만 면진장치를 포함한 면진구조물의 설계, 해석요건을 포함한 체계적인 면진설계지침이 마련되어야 한다. 일본을 비롯한 원자력선진국에서는 이미 원자력발전소에의 적용을 위한 면진설계지침서를 개발중에 있으며 거의 실용화 단계까지 와있다<sup>(1-4)</sup>.

본 연구에서는 국내에서 수행된 면진에 대한 지금까지의 연구결과<sup>(5-17)</sup>를 토대로 액체금속로에의 적용을 위한 면진설계지침서를 제안하고자 한다.

\* 한국원자력연구소 책임연구원, 정회원

\*\* 한국원자력연구소 선임연구원

\*\*\* 한국원자력연구소 책임연구원

본 지침서의 전반적인 내용은 : 주요 용어정의, 전반적인 면진구조물계통의 설계요건 및 해석 방법, 각 면진구조물, 계통 그리고 기기들의 설계요건 및 해석방법, 면진베어링의 설계요건 및 평가방법, 면진계통의 설계 및 성능요건, 면진-비면진 연계계통의 설계요건 및 해석방법, 면진구조물계통의 검증시험, 면진베어링 수용시험, 면진신뢰도 요건, 지진안전정지계통 및 감시계통 요건, 참고문헌 그리고 부록 등으로 구성되어 있으며 본 논문에서는 참고문헌 8의 주요 내용을 축약하여 기술한 것이다.

본 지침서의 내용은 다음과 같은 계통분류에 기초하여 기술되어 있으며 계통에 대한 분류는 다음과 같다.

- 면진구조물계통 (Seismically Isolated System : SIS)
- 면진구조물, 계통, 기기 (Isolated Structure, System and Components)
- 면진베어링 (Seismic Isolator)
- 면진기기 (Seismic Isolation Device)
- 면진계통 (Seismic Isolation System)
- 면진연계계통 (Seismic Isolation Interface System)

본 지침서에서 취급하는 면진계통은 원형단면 고감쇠 적층고무베어링(High Damping Laminated Rubber Bearing)만을 사용한 수평면진설계에 국한한다. 천연고무계 적층고무베어링, 납삽입 적층고무베어링, 강스프링 그리고 3 차원 면진베어링 등과 같은 다른 면진베어링과의 혼합 또는 대체 사용을 위해서는 본 지침서를 수정/보완할 수 있다.

## 2. 주요 면진설계지침서 내용

### 2.1 면진구조물계통에 대한 설계요건 및 해석방법

본 절에서는 면진주파수, 수평설계변위, 내진능력, 면진층 상하부매트, 지반-구조물 상호작용, 종국지진계통 그리고 지진해석에 대한 요건들이 포함된다.

면진주파수는 각 면진베어링의 최소강성값의 합과 면진될 상부구조물 전체의 질량에 대하여 1 자유도계로 평가된 고유진동수로 결정한다. 일반적으로 암반 또는 이에 상응하는 안정(firm)지반에 대한 지진동의 강주파수성분들은 1.5Hz~8Hz 사이에 존재하고 기존설계된 원전의 전형적인 1 차고유진동수 범위가 약 4Hz~7Hz 사이에 있음을 고려하면 면진주파수( $F_{iso}$ )는 다음과 같은 주파수범위에서 결정할 수 있다.<sup>(6,9,15)</sup>

$$0.5\text{Hz} \leq F_{iso} \leq 1.0\text{Hz}$$

면진구조물의 설계는 주어진 수평변위를 만족해야 하며 설계시 고려해야 하는 수평변위는 기준변위 (Reference Disp.)  $D_R$ , 계산변위 (Calculated Disp.)  $D_C$ , 설계변위 (Design Disp.)  $D_d$ , 잔류변위 (Residual Disp.)  $D_F$ 이다. 이러한 수평변위는 일반적으로 지반과 상부매트와의 상대변위를 나타내지만 면진-비면진 사이의 연계구조물간의 간격설계시에는 구조물 각 위치에서의 지반과의 상대변위를 고려해야 한다.

설계수평변위  $D_d$ 는 설계검증에 사용되는 변위값을 말하며 자기복귀(Self-Centering)가 되는

고감쇠 면진베어링의 경우에는 안전계수  $SF$ 를 고려하여 다음과 같이 결정한다.

$$D_d = SF * \text{Max}[0.9D_R, D_C]$$

여기서 안전계수  $SF$ 는 변위결정과 관련된 불확실성 그리고 입력지진동의 보수성으로 고려하지 못하는 불확실성, 그리고 면진-비면진 연계계통설계시 설계간격의 보수성 등을 포함하여 결정한다. 그리고 기준변위  $D_R$ 은 다음과 같이 결정한다.

$$D_R(y) = D_{RM} + D_{RE} = D_{RM}(1 + e y)$$

$D_{RM}$  : 기준평균변위 (Reference Mean Displacement)

$D_{RE}$  : 상부구조물의 질량중심과 면진계통 중심사이의 편심으로 발생하는 기준변위

$e$  : 편심량

$y$  :  $D_{RM}$ 에 수직인 방향으로 면진계통 중심으로부터  $D_{RE}$ 가 계산될 때까지의 거리

입력지진하중에 대한 면진구조물의 내진용량(Seismic Capacity)은 면진구조물이 견딜 수 있는 최대 지반입력가속도의 크기로 평가될 수 있다.<sup>(14)</sup> 이를 위하여 면진계통을 포함한 면진구조물 전체에 대하여 안전정지지진(SSE) 하중에 대한 지진응력해석을 수행하고 이로부터 계산된 지진응력여유도로 부터 내진용량  $SC$ 는 다음과 같이 결정된다.

$$SC = \text{Min} [\text{Seismic Stress Margin} + 1] \times SSE(g)$$

지진응력해석에는 준정적 응력해석, 시간이력해석, 시험 또는 이들을 혼합한 방법을 사용하여 수행할 수 있다.

면진베어링이 위치하는 상하부매트는 상부구조물의 무게와 지진하중 그리고 기타 정적 및 동적하중에 대하여 굽힘변위를 최소화하고 항상 수평면을 유지할 수 있을 만큼 충분한 강도설계와 시공이 이루어져야 한다. 따라서 상하부매트는 상부구조물이 상부매트의 평면상에서 강체운동을 할 수 있도록 해야 한다. 특히 면진베어링의 종류 및 배열에 의해 발생될 수 있는 각 면진베어링 간의 수직변위차로 인한 국부침하문제를 충분히 감소시킬 수 있도록 설계해야 한다.

지반-구조물 상호작용에 대한 영향이 설계해석에 고려되어야 한다. 단, 지반의 전단속도가 600 m/s 이상이면 지반의 등가강성이 면진베어링 강성보다도 훨씬 크기 때문에 지반자체의 수평동적효과는 무시할 수 있다<sup>(2,6)</sup>.

면진계통의 기능상실 사고시에 수직하중을 지탱할 수 있는 안전장치로서 종국지진계통이 제공되어야 한다. 종국지진계통의 설치위치는 면진베어링의 최대 수직변위를 고려하여 결정되어야 한다. 단, 면진베어링이 초과설계 SSE 수준의 지진하중과 화재사고시 상부구조물의 수직하중을 충분히 지지할 수 있음을 시험적으로 입증할 수 있을 경우에는 사용을 배제할 수 있다.

면진구조물계통에 대한 지진해석 절차는 기존 원자력발전소의 내진설계 절차와 동일하다. 설계지진으로는 미국 10 CFR 100 App. A에서 규정한 운전기준지진(OBE)과 SSE의 2가지 수준의 지진하중이 사용되어야 하며 이러한 설계지진들은 지반표면에서의 자유장 조건들에서 정의된 지반운동이어야 한다. 세부적인 지진응답해석은 참고문헌 8에 따른다.

## 2.2 면진구조물, 계통 및 기기에 대한 설계요건과 해석방법

본 절에서는 설계지진횟수, 최소 OBE 횟수, 이차구조물과 기기의 지진해석, 충응답스펙트럼,

준정적해석 그리고 슬로싱에 대한 요건들이 포함된다.

구조물, 계통 및 기기는 1 개의 SSE 설계지진하중과 규정된 횡수의 OBE 설계지진하중에 견딜 수 있도록 설계되어야 한다. 이러한 요건은 고온에서 운전되는 LMR 의 구조특성으로 인해 파괴손상 설계평가단계에서 매우 중요하게 다루어져야 한다.

면진구조물에 포함되는 2 차 구조물 및 기기들에 대한 해석에는 전체 면진구조물계통과의 연계를 고려한 연계 해석법과 비연계 해석방법(Decoupling Method)이 적용될 수 있으며 다음과 같은 요건에 따라서 결정될 수 있다.

$$R_m = \frac{\text{Total Mass of the Supported Subsystem}}{\text{Total Mass of the Supporting System}}$$

$$R_f = \frac{\text{Fundamental Frequency of the Supported Subsystem}}{\text{Dominant Frequency of the Support Motion}}$$

- 1)  $R_m < 0.01$ 인 경우 :  $R_f$  에 관계없이 비연계해석이 가능하다.
- 2)  $0.01 \leq R_m \leq 0.1$ 인 경우 :  $R_f \geq 1.25$  또는  $R_f \leq 0.8$ 을 만족하면 비연계해석이 가능하다.
- 3)  $R_m > 0.1$ 인 경우 : 2 차 구조물 또는 기기들의 적절한 동적모델이 전체 면진구조물계통 해석모델에 포함되어야 한다.

지진응답해석법에는 선형모델에 대한 충응답스펙트럼법과 준정적해석이 사용될 수 있다.

### 2.3 면진베어링에 대한 설계요건 및 해석방법

본 절에서는 일반사항, 면진베어링의 설계 및 제작절차, 설계수직하중 및 용량, 설계변위 및 용량, 수평 및 수직강성, 감쇠, 안정성, 종국거동, 특성분산한계, 환경영향, 크립영향, 설계수명, 설계공차 그리고 재료특성에 대한 요건들이 포함된다.

본 지침서에 적용되는 면진베어링은 고감쇠 적층고무베어링이다. 설계 및 제작절차는 설정된 시방서에 따라서 수행하며 제작된 면진베어링은 2.7 절의 수용시험요건을 만족해야 한다.

각 면진베어링의 설계수직하중( $P_d$ )은 면진될 총 상부구조물 자중을 사용된 총 면진베어링의 개수로 나눈 자중으로 결정한다<sup>(5,7)</sup>.

면진베어링의 설계 수평변위( $D_d$ )는 앞의 2.1 절의 변위요건에 따라서 결정하며 면진베어링의 수평변위용량( $D_{max}$ )은 수직하중용량( $P_{max}$ ) 수준의 하중이 작용한 상태에서 종국거동에서 나타나는 최대복원력을 일으키는 종국 수평변위값<sup>(11)</sup>으로 결정한다.

고감쇠 면진베어링의 수평변형률( $\gamma$ )에 따른 수평강성은 다음과 같은 특성을 가져야 한다.

- 1) 풍하중 등과 같이 자주 발생하는 진동하중에 대하여 면진계통의 거동을 최대한 억제하기 위하여 면진베어링의 수평변형률이 ( $\gamma < 5\%$ )인 경우에는 설계 수평강성보다 훨씬 높은 수평강성 특성을 나타내야 한다 : 풍하중 제어강성.
- 2) 면진베어링의 수평변형률이 ( $5\% \leq \gamma \leq$  설계 수평변형률)인 경우에는 면진구조물계통이 면진주파수 특성을 나타낼 수 있도록 설계수평강성 특성을 나타내야 한다 : 지진하중 제어강성.
- 3) 면진베어링의 수평변형률이 ( $\gamma \gg$  설계 수평변형률)인 경우에는 초과설계 지진하중에 대하여

수평변위응답을 줄임으로서 면진-비면진간의 연계구조물의 구조안전성을 높이기 위하여 면진베어링의 경화현상이 발생하는 수평강성 특성을 나타내야 한다 : 극한변위 제어강성.

면진베어링에 대한 수평 등가점성감쇠비( $\zeta_d$ )는 준정적 가진조건하에서 구해진 실험결과들로부터 다음과 같은 설계식으로 부터 결정한다.

$$\zeta_d = A_\Delta / (2\pi K_{eff} D^2)$$

여기서  $A_\Delta$ ,  $K_{eff}$  그리고  $D$ 는 히스테리시스 루프의 면적과 등가수평강성 그리고 최대 복원력시의 수평변위를 각각 나타낸다. 단, 감쇠평가시 동적가진의 영향을 무시할 수 없을 경우<sup>(10)</sup>에는 적절한 수정계수로 보완된 설계식을 사용할 필요가 있다.

면진베어링에 작용하는 수직하중용량에 대한 좌굴안정성을 충분히 보장할 수 있도록 적절한 수준의 형상설계가 이루어져야 한다<sup>(12)</sup>. 그리고 면진베어링의 복합구조형상에 대한 상세 구조건전성 평가를 위해 3차원 유한요소해석이 사용될 수 있다.<sup>(16)</sup>

면진베어링의 종국거동에 대한 설계는 전체 면진구조물의 안전성과 설계여유도 평가에 매우 중요하며 설계수직하중 및 수직하중용량하에서 면진베어링의 최대 복원력을 발생시키는 종국 수평변위값이 명시되어야 한다.

#### 2.4 면진계통에 대한 설계 및 성능요건

면진계통은 각 면진베어링 및 면진기기들로 구성된 지진에너지 흡수장치 전체를 나타낸다. 이 절에서는 각 면진베어링의 특성들을 통합한 면진계통의 총괄특성에 대한 요건들을 명시하며 일반사항, 설계수직하중, 설계변위, 면진베어링배열, 자체복원력, Uplift 그리고 추가 면진장치에 대한 요건들이 포함된다.

#### 2.5 연계계통에 대한 설계요건 및 해석방법

이 절에서는 면진구조물계통과 비면진구조물을 연결하는 계통, 구조물, 기기(equipment) 그리고 장치물(Component) 등에 대한 요건을 명시하며 일반사항, 안전 및 비안전성관련 장치물 및 계통에 대한 설계간격 그리고 연계배관계통에 대한 요건들을 포함한다.

면진-비면진 연결부의 안전관련 장치물과 계통들은 다음과 같은 상대 수평변위들의 합을 수용할 수 있는 수평간격  $D_t$ 를 만족하도록 설계되어야 한다.

$$D_t = D_d + D_f + D_s$$

- 1) 수평변위  $D_d$ 는 설계수평변위를 나타낸다.
- 2) 수평변위  $D_f$ 는 각 장치물이 설치되어 있는 위치에서의 장치물과 상부매트사이의 상대 수평변위를 나타낸다.
- 3) 수평변위  $D_s$ 는 장치물을 지지하는 지지물 자체의 변형량을 나타낸다.

그리고 면진-비면진 연결부의 비안전관련 장치물과 계통들에 대한 수평간격은 OBE 를 포함한 하중조합에 대하여 계산된 상대변위보다 작지 않도록 설계되어야 한다.

연계배관계통은 모든 운전하중조건들에 대해 요구되는 표준(standard)에 의한 요건들이 모두 만족됨을 보이기 위한 상세 응력해석이 수행되어야 한다. 이러한 해석은 지진하중과 명시된 동하중 동안에 발생이 예상되는 모든 하중들을 포함해야 한다 (ASME Code Case N-290-1, ASME Section III Division 1-Appendix N, ASME C.C. N-47, ANSI 31.1.0 참조).

## 2.6 면진베어링, 면진계통, 면진구조물계통의 검증(Qualification)

이 절에서는 검증방법, 면진베어링 검증, 면진계통 검증 그리고 면진구조물계통 검증에 대한 요건들이 포함된다.

면진베어링, 면진계통 그리고 면진구조물에 대한 검증은 시험, 해석 또는 시험과 해석을 병합한 방법에 의하여 수행되어야 한다. 또한 이들에 대한 제작과정도 제작시방서의 명시에 따라 적절히 수행되었는지 검증되어야 한다. 수행된 검증내용들은 구체적인 문서화로 만들어져야 한다.

면진베어링의 검증에는 검증에 필요한 면진베어링 개수와 크기, 시험시방서와 절차 그리고 고 무시편 검증에 대한 요건들이 명시된다. 시험시행서와 절차에 대한 요건에는 크립시험, 설계강성을 위한 정적시험, 수평특성평가를 위한 동적시험, 피로시험, 중국거동시험에 대한 요건들이 포함된다.

면진계통에 대한 검증은 진동대를 이용한 동적가진시험을 통하여 수행한다. 진동대 시험에는 축소효과가 충분히 평가된 경우에 축소규모 베어링을 사용한 축소 면진구조물이 이용될 수 있다. 이 검증시험에서는 설계 수평변위, 자기복귀 요건이 검증되어야 하며 설계 수평지진하중 가진에 대한 면진계통의 힘-변위 특성 시험결과로부터 설계 수평강성 및 감쇠비 요건이 만족되어야 한다.

면진구조물계통에 대한 검증시험은 진동대를 이용한 동적가진시험을 통하여 수행한다<sup>(13)</sup>. 진동대 시험에는 축소효과가 충분히 평가된 경우에 축소규모 베어링을 사용한 축소 면진구조물이 이용될 수 있다. 검증시험의 목적은 해석에 의한 면진구조물계통의 검증에 사용되어질 수학적 해석 모델 및 해석변수들의 정확성 입증, 설계 수평변위에서의 자기복귀 성능평가 그리고 설계 지진동에 대한 면진구조물, 계통 및 기기들의 면진성능 입증 등을 수행하는 것이다. 그리고 설계수직 지진동에 대한 수직지진응답 증폭의 기준요건을 마련하고 이에 대한 검증시험이 수행되어야 한다.<sup>(17)</sup>

## 2.7 면진베어링 수용시험(Acceptance Tests)

이 절에서는 일반사항, 수용시험, 면진베어링 형식표시, 문서에 대한 요건들이 포함된다.

수용시험에는 시험에 필요한 면진베어링 개수, 성능시험, 파단시험, 외부형상, 수직강성을 위한 압축시험, 수평강성을 위한 압축전단시험 그리고 수용시험후의 외부형상에 대한 요건들이 포함되어야 한다.

## 2.8 면진신뢰도

이 절에서는 품질보증절차, 면진베어링의 신뢰도에 영향을 미치는 인자평가, 면진베어링 수명, 가동중검사에 대한 요건들이 포함된다. 각 요건들에 대한 기술내용은 다음과 같다.

- 면진베어링의 설계, 재료선정, 제작, 그리고 검증 및 수용시험들은 10 CFR 50 App. B 에 명시된 품질보증 프로그램에 따라서 수행되어야 한다.
- 제작된 면진베어링의 저장, 포장, 운송 그리고 유지보수 등의 외부요인으로 인한 손상가능성을 규명하고 평가하여 방지할 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 그리고 검증 및 수용시험, 가동중검사 그리고 보수유지 전략에 대한 신뢰성 민감도가 평가되어야 한다.
- 면진베어링은 아무런 보수를 하지 않고서도 적어도 원전 설계수명동안 사용될 수 있도록 설계/제작되어야 한다.
- 면진베어링의 외부 형상과 예기치 않은 기계적 역학특성의 변화 등을 평가하기 위한 가동중검사 프로그램이 마련되어야 한다. 또한 면진베어링의 외부 형상 및 연결부위에 대한 육안검사가 수행되어야 한다. 이러한 육안검사는 적어도 각 핵연료 재장전 기간과 OBE 수준의 지진동을 겪은 후에는 반드시 각 면진베어링에 대하여 주의깊게 수행되어야 한다. 그리고 육안검사 후에는 반드시 검사결과에 대한 보고서가 작성되어야 한다.

### 2.9 면진안전성 및 감시계통

이 절에서는 지진안전계통과 감시계통에 대한 요건들이 포함된다.

원자로는 OBE 이상의 지진발생의 경우에는 완전히 가동정지되어야 한다. OBE 수준이상의 지진발생후에는 발생하중 수준에 대한 기존 설계해석 보고서를 토대로 설계변위들에 대한 적절한 설계여유도가 있음이 입증되어야 한다.

일반적으로 원자로의 정지방법에는 운전원에 의한 정지와 안전정지계통에 의한 자동정지 방법이 사용될 수 있다. 본 지침서에는 운전원에 의한 정지방법을 따르며 운전원 판단에 따라서 원자로 주제어실에 비치된 비상정지 절차서에 근거하여 원자로 정지장치를 구동시킨다. 이러한 방법은 원전의 안전성을 충분히 보장할 수 있을 만큼 신뢰성이 있다는 전제하에서 적용할 수 있다.

운전원들에게 지진발생에 대한 충분히 신뢰성있는 정보를 제공하고 이에 적극적으로 대응할 수 있게 하기 위하여 지진감시계통이 설치되어야 한다. 이러한 지진감시계통에는 지반을 포함한 면진구조물계통의 주요 부위에 대한 지진 가속도응답과 면진계통의 수평 및 수직변형량을 측정하기 위한 가속도계, 변위계 등과 같은 각종 센서들이 설치되어야 한다.

### 3. 결 론

현재 국내에서 추진중인 액체금속로 KALIMER 에 대한 면진 설계기술개발의 일환으로 체계적인 면진설계적용을 위해 개괄적인 내용을 요약하여 면진설계 지침서를 제안하였다. 제안된 면진설계지침서는 현재까지 한국원자력연구소를 중심으로 개발된 고감쇠 적층고무 면진베어링을 사용한 액체금속로 면진설계를 위한 것으로 원자력시설의 면진설계에 광범위하게 적용될 수 있다. 본 연구에서 제안된 면진설계지침서는 앞으로 지속적인 연구개발과 검토를 통하여 수정보완 될 예정이며, 일반산업구조물의 면진설계적용을 위해서도 적절한 보완을 통하여 면진설계지침서 개발이 가능할 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 일본건축학회(1993), "면진구조설계지침"
2. M. Forni, A. Martelli, and et.al.(1994), "Proposal for Design Guidelines for Seismically Isolated Nuclear Plants-Final Report," European Atomic Energy Community and ENEA.
3. K. Ishida, H. Shibata, and T. Fujita(1993), "Introduction on Design and Technical Guidelines (Draft) for FBR," Proceedings of the International Post- SMIRT Conference Seminar, Italy, pp. 647-679.
4. Base Isolation Subcommittee of the Seismology Committee of the SEAOC(1987), "Tentative Seismic Isolation Design Requirements,"
5. 유봉,이재한,구경희(1995), "액체금속로용 고감쇠 면진베어링의 축소모델 시험결과분석," KAERI/TR-539/95.
6. 유봉,이재한,구경희(1996), "지반특성에 따른 면진 및 비면진구조물의 가속도응답 영향평가," KAERI/TR-670/96.
7. 유봉,이재한,구경희(1997), "액체금속로용 축소규모 고감쇠 및 납삼입 면진베어링의 특성시험결과 분석," KAERI/TR-809/97.
8. 유봉,구경희,이재한(1998), "Guidelines for Seismic Isolation Design for LMR(Drft)," KAERI 기술보고서(작성중).
9. 구경희,이재한 등(1996), "수정히스테리틱 Bi-Linear 면진베어링 모델을 사용한 지진응답감소," 대한기계학회논문집(A) 제 20 권 제 1 호, pp.127-134.
10. G.H. Koo and Y. Ohtori(1998), "Loading rate Effects of High Damping Seismic Isolation Rubber Bearing on Earthquake responses," KSME International journal, Vol.12 No. 1, pp.58-66.
11. G.H. Koo, J.H. Lee, B. Yoo, and Y. Ohtori(1998), "Evaluation of Laminated Rubber Bearing for Seismic Isolation using Modified Macro-Model with Parameter Equations of Instantaneous Apparent Shear Modulus," Journal of Engineering Structures, in press.
12. 구경희,이재한,유봉(1997), "면진용 적층고무베어링의 기계적 역학특성," 한국지진공학학회논문집 제 1 권 제 2 호, pp.79-89.
13. 유봉,이재한,구경희(1997), "액체금속로 면진설계 적용을 위한 지진응답 특성시험," 한국원자력학회 '97 추계학술발표회논문집(II), pp.528-533.
14. 유봉,구경희,이재한(1996), "KALIMER 원자로구조물의 면진성능 및 내진여유도 평가," 한국원자력학회 '96 추계학술발표회논문집(II), pp.683-689.
15. 구경희,이재한,유봉(1995), "면진주파수가 원통형탱크의 구조응답에 미치는 영향." 한국전산구조공학회 '95 가을학술발표회 논문집, pp.258-265.
16. 유봉,이재한,구경희(1996), "면진베어링 유한요소해석." 한국전산구조공학회 '95 가을학술발표회 논문집, pp.45-51.
17. B. Yoo et al(1997), "A study of vertical seismic responses for base isolated PWR using high damping rubber bearing", Transactions of the 14th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMIRT 14), Lyon, France, August 17-22, PP443-450.