

LRB, FPS 지진격리시스템의 지진응답특성 비교연구

Seismic Response Comparative Evaluation Study on Floor Isolation using LRB and FPS in Main Control Room of Nuclear Power Plant

이경진¹⁾ · 함경원²⁾

Lee, Kyung-Jin · Ham, Kyung-Won

국문 요약 >> 본 연구에서는 원전 주 제어실의 층 지진격리시스템에 대한 지진동 저감성과 적용성을 평가하기 위해서 실험연구를 수행하였다. 층 지진격리시스템에 적용하기 위해서 납-고무 베어링(LRB)과 마찰진자장치(FPS)를 설계하고 제작하였다. 제어 캐비닛과 액세스 플로어로 구성된 원전 주 제어실 부분 실험모형을 제작하여 납-고무 베어링과 마찰진자장치를 각각 설치하여 진동대 실험을 수행하여 지진응답특성을 비교, 평가하였다. 실험을 위해서 원전 주 제어실의 운전기준지진(OBE)과 안전정지지진(SSE)의 수평방향 층응답 스펙트럼을 이용하여 인공지진 시간이력을 만들어서 진동대 실험에 사용하였다. 입력지진에 대한 실험모형의 지진응답은 마찰진자장치를 적용한 경우 상대적으로 우수한 지진동 저감특성을 나타냈다.

주요어 납-고무 베어링, 마찰진자 장치, 층 지진격리, 진동대, 최대가속도, 최대상대변위, 응답스펙트럼

ABSTRACT >> An experimental study was performed to evaluate seismic reduction performance and the applicability of 2-dimensional floor isolation system to the main control room of a nuclear power plant. A lead-rubber bearing (LRB) and a friction pendulum system (FPS) were designed and fabricated for a 2-dimensional floor isolation system. A partial experimental model of a main control room with the LRB and FPS was tested using a shaking table. The experimental model consisted of a control panel, a 2.5m×2.5m access floor, and four LRB and FPS. The artificial time histories based on the horizontal floor response spectrums (OBE, SSE) of the main control room were used as earthquake input signals. Compared to the non-isolated system, the seismic response of experimental models using a 2-dimensional floor isolation system showed considerable seismic reduction performance against an earthquake.

Key words Lead-Rubber bearing, Friction pendulum system, Floor isolation, Shaking table, Response spectrum

1. 서론 및 연구동향

국내에서 중소규모의 지진이 발생하는 빈도가 증가하고 있고, 원전설계지진의 최대값을 재산정하는 것에 대한 논의가 진행되고 있다. 평가결과에 따라서는 원전의 설계입력지진의 최대값이 현행설계기준에 비해 상향 조정될 수 있고, 이러한 경우, 운전 중인 기존 원전은 안전관련기기에 대해서 내진성능 보강방안을 확보해야 할 필요성이 있다.

원전 주 제어실은 핵심설비인 핵증기 공급계통(Nuclear

Steam Supply System)의 전기, 계측기기를 제어하는 기능을 수행하고 있는 안전관련 설비로서 지진 발생시 내진 안전성을 확보해야 하며, 기존 설계지진의 최대값이 상향 조정될 경우 내진성능을 확보하기 위해 보강해야 한다.

원전 주 제어실의 내진안전성을 확보하고, 내진성능을 보강하기 위해 층 지진격리(Floor Isolation) 시스템을 도입하여 주 제어실의 지진응답을 저감시켜 주 제어실내에 있는 전기/계측기기의 내진 안전성을 향상시키는 안이 검토되고 있다.⁽¹⁾

제어실이나 컴퓨터실 바닥의 층 지진격리에 관련된 연구로는 국내에서 이경진 등^{(2),(3)}이 마찰진자장치(FPS : Friction Pendulum System)를 적용한 원전 주 제어실의 3차원 층 지진격리시스템에 관한 실험연구를 수행하여 실험모형에 따른 지진동 저감효과를 평가하였다. 본 논문에서는 납-고무

¹⁾ 정회원·한전 전력연구원, 책임연구원
(교신저자: leekj@kepri.re.kr)

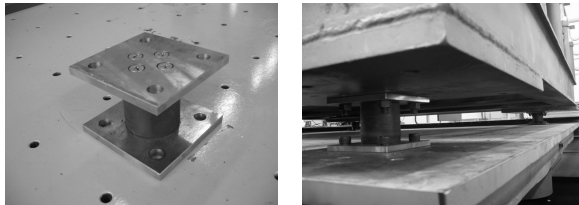
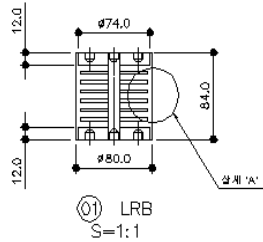
²⁾ 한전 전력연구원, 연구원

본 논문에 대한 토의를 2009년 10월 31일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

(논문접수일 : 2009. 4. 6 / 수정일 1차 : 2009. 6. 3, 2차 : 2009. 6. 8 / 게재확정일 : 2009. 6. 9)

〈표 1〉 납-고무 베어링 제원

항 목	제 원
설계연직하중	700 kgf
고무 외경	80 mm
전체높이(상하부 Plate 제외)	84 mm
고무층	6 mm × 7층 = 42 mm
강판층	3 mm × 6층 = 18 mm
납봉의 크기(단면적)	Φ12 × 84 mm(1.13 cm ²)
1차 형상계수	2.92
2차 형상계수	1.67



〈그림 3〉 납-고무 베어링과 설치모습

의 동적특성에 적합하게 설계하여 개발하였으며, 납-고무 베어링과 마찰진자장치 두가지 종류를 사용하였다. 각 장치의 특성은 다음과 같다.

2.3.1 납-고무 베어링

실험에 사용한 납-고무 베어링의 고유진동수는 1.5Hz로서, 그림 6~그림 7에 나타난 운전기준지진과 안전정지지진 수평방향성분의 주진동수 대역인 2~6Hz를 피하기 위해 결정하였다.

납-고무 베어링의 설계압축하중은 700 kgf이며, 시험체에 사용된 고무의 전단탄성계수는 7.528 kg/cm², 납의 항복강성은 84.5 kg/cm²이다. 주요 제원은 표 1에 나타나 있고, 그림 3은 제작한 납-고무 베어링을 나타낸 것이고, 실험에는 4개를 사용하였다.

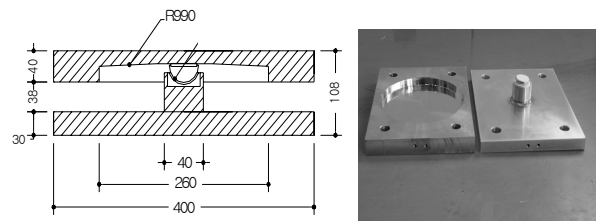
2.3.2 마찰진자장치

실험에 사용한 마찰진자장치의 설계 고유진동수는 0.5Hz로서 원전 설계지진의 주진동수 대역인 2~6Hz를 피하기 위해 결정하였다. 마찰진자장치의 설계압축하중은 2 tonf/ea., 곡률반경은 0.99m이다. 곡면의 마찰재 성분은 순수 PTFE(Unfilled PTFE)이고, 마찰재 반경은 40mm, 지압면적은

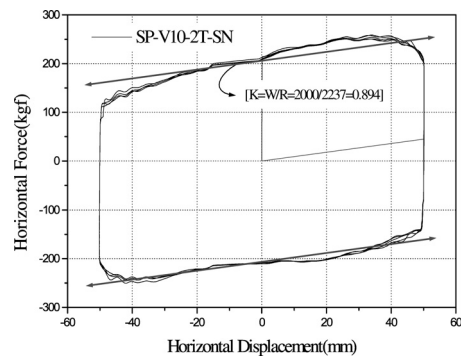
12.566cm²이며, 그림 4는 제작한 마찰진자장치이고, 그림 5는 마찰진자장치의 하중-변위 이력곡선이고, 실험에는 4개를 사용하였다.

2.4 실험방법

원전 주제어실 액세스플로어의 층 지진격리장치의 유형에 따른 지진저감효과를 평가하기 위해서 실험체에 층 지진격리시스템을 설치하고 센서를 부착하였다(그림 5 참조). 캐비닛의 수평방향 응답을 계측하기 위하여 가속도 센서를 캐비닛의 상단부, 중앙부, 하단부에 3개 설치하였으며,



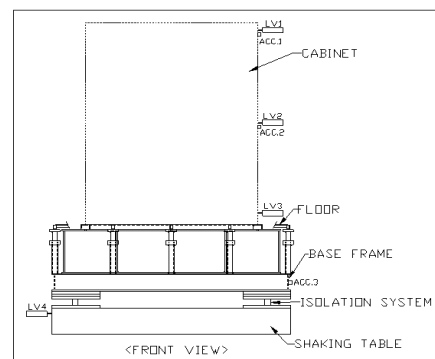
〈그림 4〉 마찰진자장치



〈그림 5〉 마찰진자장치 하중-변위 이력곡선

〈표 2〉 진동대 실험순서

지진격리 유무	입력지진	시험순서
지진격리	OBE	1
	SSE	2
비지진격리	OBE	3
	SSE	4

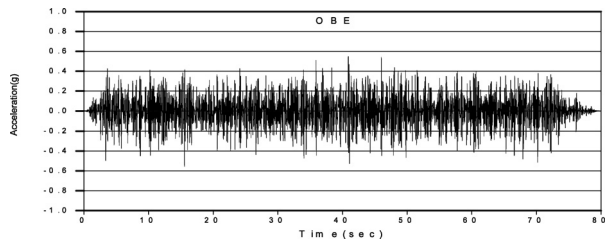


〈그림 6〉 센서 위치와 제어 캐비닛 설치개념도

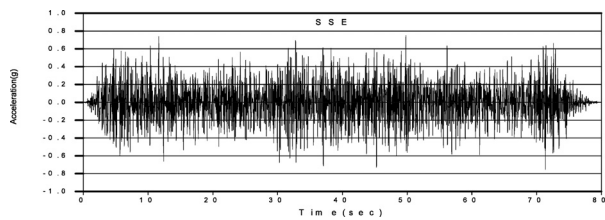
LVDT는 캐비닛 상단부, 중앙부, 하단부, 진동대 테이블에 4개를 설치하여 표 2에 나타난 순서로 실험을 수행하였다.

2.5 입력지진

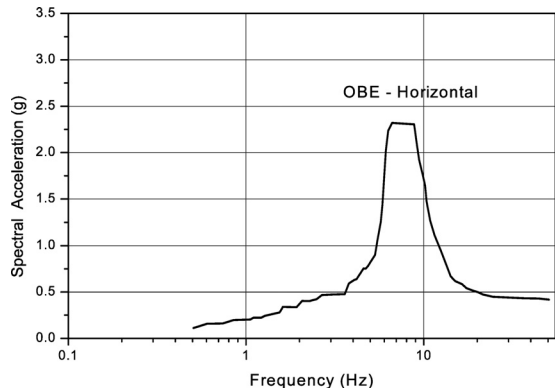
진동대 실험에 사용한 입력지진은 그림 7~그림 8에 나타난 원전 설계지진이다. 실험에는 원전 주 제어실이 위치한 높이 43.92m에서의 운전기준지진과 안전정지지진의 수평 방향 성분 시간-가속도 이력을 사용하였으며, 그림 9~그림



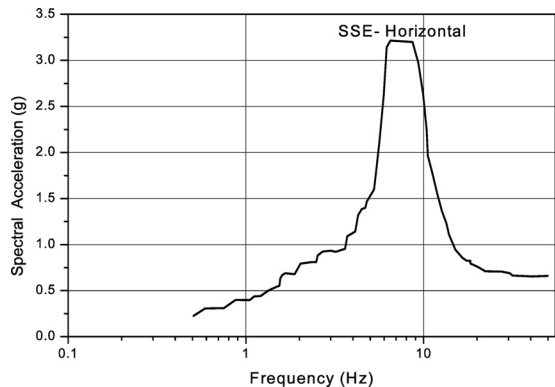
〈그림 7〉 운전기준지진의 시간-가속도 이력



〈그림 8〉 안전정지지진의 시간-가속도 이력



〈그림 9〉 국내 원전 운전기준지진의 응답 스펙트럼



〈그림 10〉 국내 원전 안전정지지진의 응답 스펙트럼

10은 운전기준지진과 안전정지지진의 응답 스펙트럼을 나타낸 것이다. 두 지진을 입력지진으로 사용한 이유는 원전 주 제어실의 위치가 원전 보조건물 높이 43.92m에 위치해 있고, 이 위치에서의 응답 스펙트럼을 입력지진으로 하여 주 제어실의 내진설계를 수행하기 때문이다.

운전기준지진(OBE)은 발전소의 운전수명기간 동안에 발전소 부지에 영향을 줄 것으로 예상되는 지진으로서 0.1g의 영주기 가속도를 가진 지진이다. 안전정지지진(SSE)은 발전소 운전수명기간 동안 예상되어진 최대규모의 지진으로 0.2g의 영주기 가속도를 가진 지진이다.⁽¹²⁾ 운전기준지진의 수평방향 성분은 침두진동수 대역이 7~9Hz이고, 안전정지지진은 침두진동수 대역이 운전기준지진과 거의 같고, 최대 스펙트럼 가속도가 40% 이상 큰 특성을 가지고 있다.

3. 실험 결과 및 분석

원전 설계지진인 운전기준지진과 안전정지지진을 수평방향으로 가진하였을 경우, 실험모형에 대해서 지진격리장치에 따른 최대응답가속도와 상대변위, 응답스펙트럼 가속도의 특성은 다음과 같다.

3.1 제어 캐비닛의 높이별 최대응답가속도 분석

주 제어실 실험모형에 납-고무 베어링과 마찰진자장치로 구성된 층 지진격리시스템을 설치하고, 수평방향으로 가진했을 경우 실험모형 주 제어실 캐비닛의 높이별 최대응답가속도는 다음과 같다.

3.1.1 납-고무 베어링 층 지진격리 시스템

운전기준지진에 대한 실험모형 캐비닛의 지진응답은 지진격리장치를 적용하지 않은 경우, 캐비닛 하단부, 중앙부, 최상부에서 최대가속도 응답이 비비례적인 거동을 나타내고, 납-고무 베어링을 적용한 경우에는 비례적인 거동을 나타내고 있다(그림 11 참조).

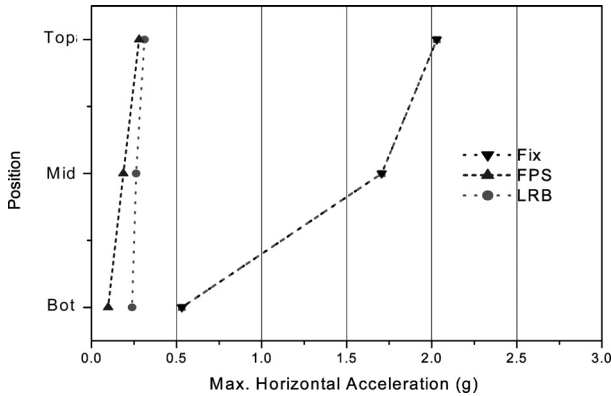
지진격리장치를 적용한 경우에는 캐비닛 하단부에 비해 상부의 지진저감율이 증가하는 경향(55% → 85%)을 나타내고 있다((저감율 = 100% - (지진격리/비지진격리)×100%). (표 3 참조)

3.1.2 마찰진자장치 층 지진격리 시스템

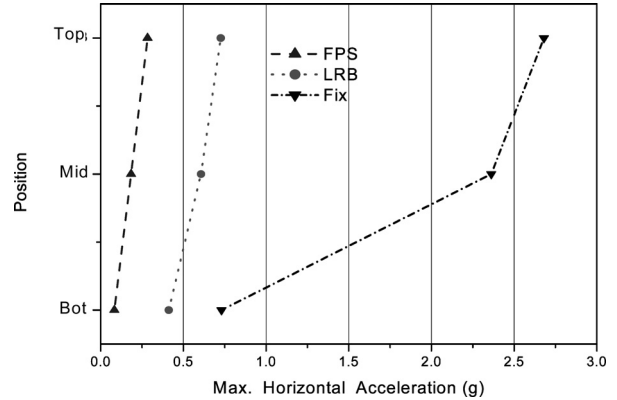
마찰진자장치를 적용한 캐비닛의 응답은 그림 11~그림 12에 정리되어 있다. 안전정지지진에 대한 캐비닛의 높이별 응답은 지진격리장치를 적용하지 않은 경우 최대가속도 응

〈표 3〉 입력지진에 대한 캐비닛의 높이별, 지진격리장치에 따른 최대응답 가속도 비교

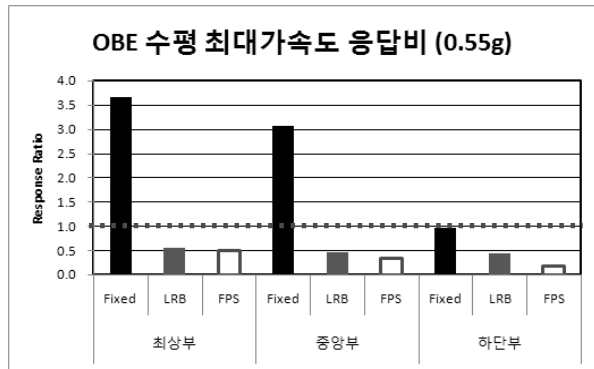
지진격리 장치	지진파	최상부에서의 최대가속도(g)			중앙부에서의 최대가속도(g)			하단부에서의 최대가속도(g)		
		비 지진격리	지진격리	저감율 (%)	비 지진격리	지진격리	저감율 (%)	비 지진격리	지진격리	저감율 (%)
LRB	OBE	2.030	0.311	▽85	1.706	0.262	▽85	0.531	0.239	▽55
	SSE	2.680	0.726	▽73	2.362	0.607	▽75	0.731	0.412	▽44
FPS	OBE	2.030	0.280	▽86	1.706	0.187	▽89	0.531	0.098	▽82
	SSE	2.680	0.284	▽89	2.362	0.184	▽92	0.731	0.083	▽89



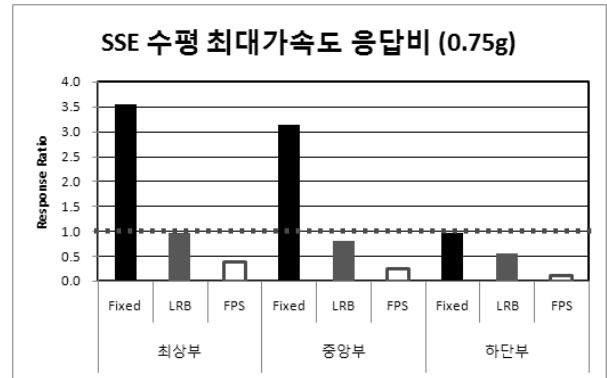
〈그림 11〉 지진격리장치에 따른 캐비닛의 높이별 최대가속도(운전기준지진)



〈그림 12〉 지진격리장치에 따른 캐비닛의 높이별 최대가속도(안전정지지진)



〈그림 13〉 지진별 최대가속도 응답비(운전기준지진)



〈그림 14〉 지진별 최대가속도 응답비(안전정지지진)

답이 비비례적인 거동을 보이고 있다. 마찰진자장치를 적용한 캐비닛의 응답은 비례적인 거동을 나타내고 있다.

마찰진자장치를 적용한 경우에는 비지진격리와 비교하여 캐비닛 위치별로 89%~92%의 저감율을 나타내고 있다(표 3 참조).

마찰진자장치를 적용한 경우와 납-고무 베어링을 적용한 경우를 비교하여 보면, 마찰진자장치가 큰 지진저감율을 나타내고 있다.

입력지진에 따른 차이점은 마찰진자장치의 경우 입력지진의 최대값 차이에 따른 지진응답의 변화가 크지 않고 (3%~7%) 일정한 가속도응답을 나타냈다. 납-고무 베어링은 입력지진의 크기에 따라서 저감율의 변화가 크며(30%~33%), 운전기준지진보다는 안전정지지진에서 저감율이 상

대적으로 줄어들고 있다. 납-고무 베어링이 마찰진자장치에 비해 저감율의 변화가 크고, 캐비닛 하단부에서 지진저감율이 상대적으로 작게 나온 이유는 저진동수 대역(1~2Hz)에서 지진저감이 어려운 구조적 특성이 반영된 것으로 보인다.

3.2 제어 캐비닛의 높이별 최대가속도 응답비 분석

입력지진별로 지진격리장치에 따라서 지진격리, 비지진격리시를 비교하여 최대가속도의 응답비(Response Ratio)를 그림 13~그림 14에 나타내었고, 입력지진의 최대가속도를 1로 하여 지진응답비를 나타냈다.

$$\text{최대가속도 응답비} = \frac{\text{캐비닛 최대응답가속도}}{\text{입력지진 최대가속도}}$$

3.2.1 납-고무 베어링 층 지진격리 시스템

운전기준지진을 입력지진으로 했을 경우 캐비닛의 최대 가속도 응답비는 비지진 격리시에는 캐비닛 하단부에서 0.96, 캐비닛 중앙부에서 3.10, 캐비닛 최상부에서 3.69를 나타내고 있다(표 4 참조).

지진격리시의 최대가속도 응답비는 캐비닛 하단부에서 0.43, 중앙부에서 0.47, 최상부에서 0.56을 나타내고 있다.

3.2.2 마찰진자장치 층 지진격리 시스템

안전정지지진을 입력지진으로 했을 경우 캐비닛의 최대 가속도 응답비는 비지진 격리시에는 캐비닛 하단부에서 0.97, 캐비닛 중앙부에서 3.14, 캐비닛 최상부에서 3.57을 나타내어, 캐비닛 상부로 갈수록 지진응답이 증폭되는 경향을 나타내고 있다(표 4 참조).

지진격리시의 최대가속도 응답비는 캐비닛 하단부에서 0.11, 중앙부에서 0.25, 최상부에서 0.38의 값을 나타내고 있다.

마찰진자장치의 최대가속도 응답비는 캐비닛 하단부에서 납-고무 베어링의 20%, 캐비닛 중앙부에서는 31%, 최상부에서는 39% 정도로서 작게 나타났다.

3.3 제어 캐비닛의 높이별 최대응답 상대변위

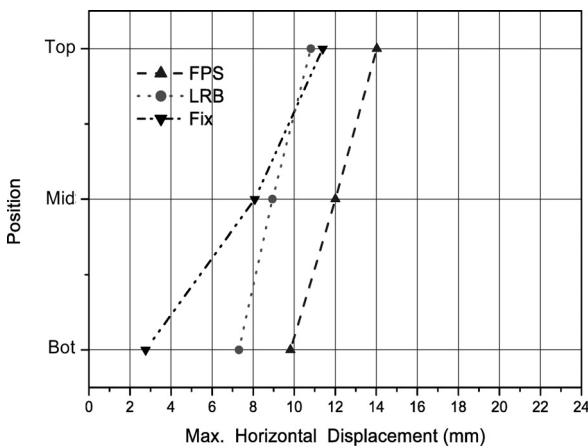
캐비닛 높이별(그림 6의 LV 1 ~ LV 4) 최대상대변위를 표 5와 그림 15~그림 16에 정리하였다. 지진격리장치를 설치하지 않은 경우에는 캐비닛 구조물의 상대변위가 상하부가 비슷하게 나타났고, 지진격리장치를 설치한 경우에는 하단부는 지진격리효과로 인해 상대변위가 크게 나타나고, 최상부와 중앙부는 상대변위가 비슷하게 나타났다.

〈표 4〉 캐비닛 최대가속도 응답비

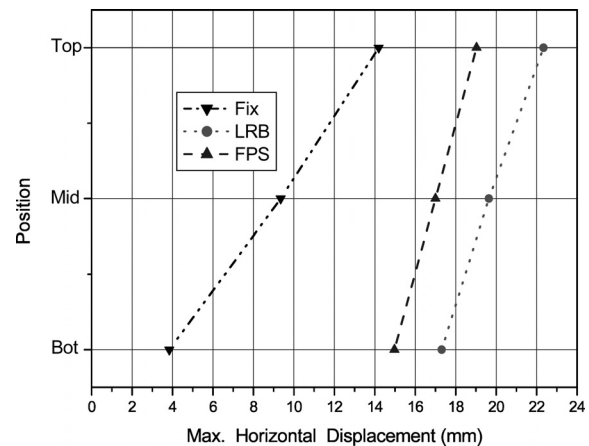
입력 지진 (최대가속도, g)	캐비닛 최상부 최대가속도 응답비			캐비닛 중앙부 최대가속도 응답비			캐비닛 하단부 최대가속도 응답비		
	비 지진격리	LRB	FPS	비 지진격리	LRB	FPS	비 지진격리	LRB	FPS
OBE(0.55)	3.69	0.56	0.51	3.10	0.47	0.34	0.96	0.43	0.17
SSE(0.75)	3.57	0.97	0.38	3.14	0.81	0.25	0.97	0.55	0.11

〈표 5〉 캐비닛 높이별 최대상대변위

지진격리장치	지진파	최상부에서의 최대상대변위 (mm)		중앙부에서의 최대상대변위 (mm)		하단부에서의 최대상대변위 (mm)	
		비 지진 격리	지진 격리	비 지진 격리	지진 격리	비 지진 격리	지진 격리
LRB	OBE	3.31	1.87	5.32	1.63	2.76	7.31
	SSE	4.84	2.70	5.51	2.33	3.84	17.31
FPS	OBE	3.31	2.01	5.32	2.19	2.76	9.82
	SSE	4.84	2.03	5.51	2.03	3.84	14.97



〈그림 15〉 지진격리장치에 따른 캐비닛의 높이별 최대변위(운전기준지진)



〈그림 16〉 지진격리장치에 따른 캐비닛의 높이별 최대변위(안전정지지진)

3.3.1 납-고무 베어링 층 지진격리 시스템

운전기준지진을 입력지진으로 한 경우, 지진격리를 하지 않은 캐비닛의 하단부 상대변위(2.76mm)는 지진격리를 한 경우(7.31mm)에 비해 작게 나타났다. 이러한 차이는 하단부에서 지진격리장치가 수평방향으로 초기변위가 크게 발생한 것에 기인한 것으로 보인다(표 5, 그림 15 참조).

캐비닛 중앙부와 최상부에서 지진격리를 하지 않은 캐비닛의 상대변위는 각각 5.32mm, 3.31mm 이고, 지진격리를 한 경우의 상대변위는 각각 1.63mm, 1.87mm로서 하단부에서 초기변위가 크고 상부의 변위는 작은 지진격리장치의 특성을 나타내고 있다.

안전정지지진을 입력지진으로 한 경우, 지진격리를 하지 않은 캐비닛 하단부 상대변위는 7.31mm 이고, 지진격리를 한 경우는 17.31mm이다. 입력지진의 최대가속도 증가(0.55g→0.75g)보다 안전정지지진에서 상대적으로 변위가 크게 증가한 것은 초기 변형이 큰 납-고무 베어링의 기계적 특성이 발현된 것으로 보인다.

3.3.2 마찰진자장치 층 지진격리 시스템

운전기준지진을 입력지진으로 한 경우, 지진격리를 한 캐비닛의 하단부 변위는 9.82mm로서, 중앙부 및 최상부에 비해서 상대적으로 큰 변위를 보이고 있고, 납-고무 베어링과 비교해서는 약간 큰 경향을 나타내고 있다.

안전정지지진을 입력지진으로 한 경우, 지진격리를 한 캐비닛의 하단부 상대변위는 14.97mm 이다. 중앙부 및 최상부의 상대변위는 운전기준지진의 경우와 비슷한 값을 나타내고 있고, 이것은 최대응답가속도(표 3 참조)와 유사한 경향이다. 입력지진의 차이에도 변위나 최대가속도 응답이 유사하게 나타나는 것은 마찰진자장치의 기계적 특성으로 판

단된다.

납-고무 베어링의 변위응답과 비교하여 보면 마찰진자장치가 입력지진의 크기가 변화할 때에도 일정한 변위를 나타내는 데 비하여 납-고무 베어링은 입력지진의 크기가 커지면 변위응답도 커지는 특성을 나타내어 안전정지지진에서는 마찰진자장치보다 큰 변위응답특성을 보이고 있다(그림 15, 그림 16 참조).

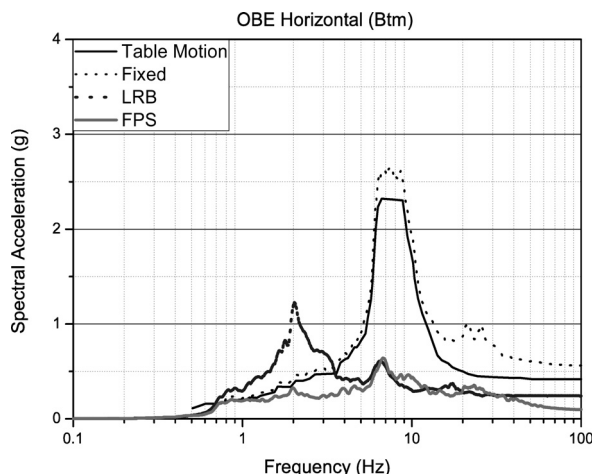
3.4 제어 캐비닛의 응답 스펙트럼 분석

운전기준지진과 안전정지지진을 입력지진으로 하여 실험 모형에 대하여 캐비닛 하단부의 응답스펙트럼을 그림 17~그림 18에 나타내었다. 응답 스펙트럼을 비교해 본 결과 최대응답이 나타나는 진동수가 지진격리장치를 설치한 경우 저진동수 영역으로 이동하였고, 최대응답은 저감되었다.

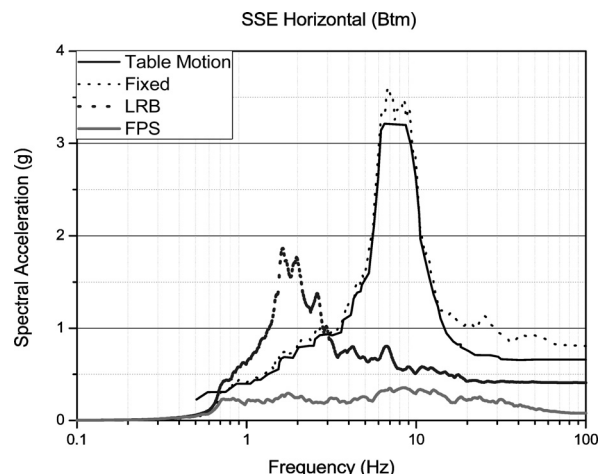
3.4.1 납-고무 베어링 층 지진격리 시스템

운전기준지진을 입력지진으로 한 경우, 지진격리를 하지 않은 캐비닛 하단부의 최대응답 스펙트럼은 진동수 7.4Hz에서 최대값은 2.64g이다. 납-고무 베어링을 설치한 경우 캐비닛 하단부의 최대스펙트럼 가속도는 진동수 2Hz에서 최대값 1.21g로서 지진격리를 하지 않은 경우에 비해 55% 저감되었다.

안전정지지진을 입력지진으로 한 경우, 지진격리를 하지 않은 캐비닛 하단부에서 최대응답 스펙트럼은 진동수 6.8Hz, 최대값 3.6g 이다. 지진격리장치를 했을 경우 캐비닛 하단부의 최대응답 스펙트럼은 진동수 1.6Hz, 최대값 1.8g로서 지진격리를 하지 않은 경우에 비해 50% 저감되었다.



〈그림 17〉 지진격리장치에 따른 캐비닛 하단부의 응답 스펙트럼(운전 기준지진)



〈그림 18〉 지진격리장치에 따른 캐비닛 하단부의 응답 스펙트럼(안전 정지지진)

납-고무 베어링의 응답특성은 입력지진의 최대값이 위치한 진동수 대역을 8~9Hz에서 2Hz 부근의 저진동수 대역으로 이동시킨 것이 분명히 나타나고 이는 납-고무 베어링의 저감특성으로 판단된다.

3.4.2 마찰진자장치 층 지진격리 시스템

안전기준지진을 입력지진으로 한 경우, 마찰진자장치를 설치한 캐비닛 하단부의 최대스펙트럼 가속도는 진동수 6.8Hz에서 최대값 0.63g 로서 지진격리를 하지 않은 경우에 비해 77% 저감되었다.

안전정지지진을 입력지진으로 한 경우, 마찰진자장치를 설치한 캐비닛 하단부의 최대응답 스펙트럼은 진동수 7.9Hz, 최대값 0.34g 로서 지진격리를 하지 않은 경우에 비해 82% 저감되었다.

납-고무 베어링은 응답특성이 설계진동수(1.5Hz) 부근에서 저감된 첨두 스펙트럼 가속도가 분명하게 존재하지만 마찰진자장치는 특정 진동수에서 첨두 스펙트럼 가속도가 나타나기 보다는 저감된 형태로 전 진동수 대역에 걸쳐서 평탄하게 분포하는 특성을 보이고 있다.

이러한 마찰진자장치의 응답특성은 입력지진의 규모가 상대적으로 큰 안전정지지진에서 특성이 뚜렷하게 보이며, 진동수 대역이 1~10Hz 부근에서 뚜렷한 첨두 스펙트럼 가속도가 보이지 않고 전체 진동수 대역에서 저감된 특성을 나타내고 있다.

4. 결론

원전 주제어실 실험모형에 납-고무 베어링과 마찰진자장치 층 지진격리시스템을 적용하여 지진동 저감성능을 비교, 평가하기 위해 수행한 진동대 실험결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 실험모형 제어 캐비닛에 층 지진격리시스템을 설치 하여 수평방향 입력지진에 대하여 평가한 지진응답 은 납-고무 베어링 보다는 마찰진자장치가 상대적으로 지진저감 성능이 우수하였다.
두 종류의 지진격리장치에 대하여 응답가속도와 상대변위, 응답스펙트럼에 관한 진동대 실험결과는 다음과 같다.
 - 최대응답 가속도 : 안전정지지진이 입력지진일 경우 캐비닛의 높이별 수평방향 최대응답가속 도는 마찰진자장치가 납-고무 베어링에 비해 지 진저감율이 17%~45% 우수한 성능을 보이고 있 다.
 - 최대응답 상대변위 : 마찰진자장치는 입력지진의 크기

가 변화할 경우 일정한 값의 변위를 나타내 지만 납-고무 베어링은 입력지진의 크기가 커지 면 변위응답도 비례해서 커지는 특성을 나타내고 있다.

- 응답스펙트럼 : 안전정지지진이 입력지진일 경우 캐비닛 하단부의 최대 스펙트럼 가속도는 마찰진자장치가 납-고무 베어링의 18% 정도로서 지진저 감능성이 상대적으로 우수하게 나타났다.
2. 납-고무 베어링과 마찰진자장치를 적용하여 수행한 실험 결과, 안전정지지진에 대해 지진격리장치를 적용하지 않은 경우와 비교한 결과는 다음과 같다.
 - 최대응답 가속도 : 납-고무 베어링은 지진격리장 치를 적용하지 않은 경우에 비해 캐비닛의 높이 별 최대응답 가속도는 44%~73% 저감되었고, 마 찰진자장치는 89%~92% 저감되었다.
 - 최대응답 상대변위 : 지진격리시 비지진 격리 시 에 비해 캐비닛 하단부에서는 상대변위가 크지만 중앙부, 최 상부에서는 상대변위가 작게 나타났다.
 - 응답스펙트럼 : 납-고무 베어링은 비지진 격리 시 에 비해 캐비닛 하단부에서 50% 저감되었고, 마 찰진자 장 치는 82% 저감되었다.

참 고 문 헌

1. Ebisawa, K., Ando, K., Shibata, K., "Progress of a research program on seismic base isolation of nuclear components," *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 198, 61-74, 2000.
2. 이경진, 함경원, 서용표, 윤현도, "원전 주제어실 3차원 층 지진격리시스템의 진동대 실험연구," 한국지진공학회 논문집, 제12권 제1호(통권 제59호), 57-66, 2008.
3. 이경진, 원전 주제어실 층면진 기술협의 공무 국외 출장보고서, '04 전력연-단717, TC.03NK01.02004. 717 한국전력공사 전력연구원, 2004.
4. 김민규, 전영선, 최인길, 서정문, 면진장치를 이용한 원전기기의 내진성능 분석, KAERI/TR-2765/2004, 한국원자력연구소, 2004.
5. 김민규, 전영선, "Coil Spring & Viscous Damper System의 동특성 분석," 한국지진공학회 논문집, 제11권 2호(통권 54호), 19-26, 2007.
6. 김민규, 大鳥靖樹, 전영선, 최인길, "면진장치를 설치한 회전기기의 지진취약도 개선효과 분석," 한국지진공학회 논문집, 제11권 6호(통권 58호), 69-78, 2007.
7. Lambrou, V., and Constantinou, M.C., Study of seismic isolation systems for computer floors, *Technical Report NCEER-94-0020*, National Center for Earth-quake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, NY, July, 1994.

8. 일본 원자력공학시험센터, “원자력발전시설 신뢰성 실증시험의 현황,” 1989.
9. 김영중, 허영철, 김병현, “마찰진자형 면진베어링의 특성연구,” 한국지진공학회 2000년도 추계학술대회 논문집, 407-414, 2000.
10. 이경진, 김갑순, 서용표, “FPS 면진장치의 기계적 특성에 관한 실험적 평가,” 한국지진공학회 2003년도 춘계학술발표회 논문집, 2003.
11. 김우범, 이경진, “마찰진자를 이용한 면진장치의 원진 주 제어실 적용에 관한 연구,” 한국강구조학회 논문집, 제17권 4호(통권 77호), 407-417, 2005.
12. 신울진, 1,2호기 최종안전성 분석보고서(FSAR : Final Safety Analysis Report)