

향상된 원전 내진설계 기준에 적합한 진동대 성능분석

Performance Analysis of the Seismic Simulator System for the Enhanced Seismic Design Requirements of Nuclear Power Plants

김영중† · 김동해*

Young Joong Kim and Dong Hae Kim

1. 서 론

근래 발생한 일본 후쿠시마현의 규모 9.0의 대지진으로 인해 인근 원전의 붕괴 사고가 발생하였다. 이를 교훈 삼아 원자력발전소의 내진 안전성을 제고하기 위한 내진 설계 강화 방안이 전세계적으로 요구되고 있다.

국내의 원전에 대해서도 안전성 향상을 도모하고 있으며, 특히 국산 원전의 UAE 수출 등 해외 프로젝트의 적용을 위해서도 향상된 내진 설계를 검토하고 이에 따른 기술 개발이 시급한 실정이다.

그 중에서도 원전의 안전성을 제어하고 비상시에 원전의 안전한 정지를 위해 필수적으로 지정된 설비에 대한 내진 검증은 반드시 안전정지지진(SSE, Safe Shutdown Earthquake) 기준에서 성능을 확인할 수 있는 시험을 통한 검증이 요구된다.

본고에서는 최근 국내 원전의 향상된 내진 설계 기준 및 경향을 살펴보고, 해외 원전에도 적용 가능한 수준의 진동대 성능에 대해 고찰하고자 한다.

2. 국내 원전의 내진설계 기준

2.1 영주기 가속도의 변화

국내 원전의 설계 지반 응답스펙트럼(DGRS, Design Ground Response Spectrum)은 현재까지 가동 중인 원전과 건설 중인 신고리 1,2호기 및 신월성 1,2호기까지 영주기 가속도(ZPA, Zero Period Acceleration)의 크기를 0.2 g로 설정하여 적용하였

으나, 건설 중인 신고리 3,4호기 및 현재 설계 중인 신월성 1,2호기부터는 Fig 1의 DGRS와 같이 0.3 g로 50% 강화된 기준을 적용하고 있다. 이 기준은 현재부터 향후의 국내 원전 설계 기준으로 정착되고 있으며, UAE 원전에도 적용하고 있다. 그러나 향후의 기준으로 ZPA가 기존의 100% 수준인 0.4 g를 검토하고 있으며, 이는 신규 해외 프로젝트에 적용할 가능성이 높다.

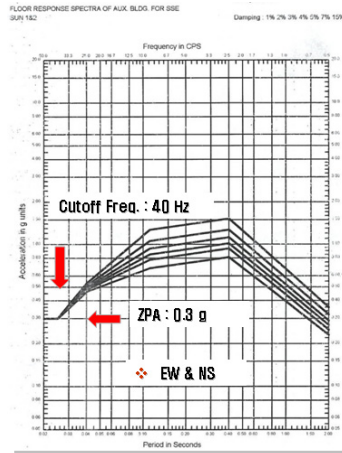


Fig. 1 Design ground response spectrum of SUN 1&2 in horizontal direction

2.2 주파수 범위의 변화

Fig. 1을 보면 영주기 가속도가 정의되는 차단 주파수(cutoff frequency)가 40 Hz로 정의되어 있다. 이는 기존 신고리 1,2호기 및 신월성 1,2호기까지의 국내 원전에 적용하던 33 Hz 보다 향상된 주파수 범위를 의미한다. 또한 향후에는 보다 광범위한 상황에 적용하기 위해 100 Hz로 향상하는 방향도 검토되고 있다.

† 교신저자; 정회원, 한국기계연구원
E-mail : youngkim@kimm.re.kr
Tel : 042)868-7424, Fax : 042)868-7418

* 한국전력기술주식회사

2.3 증폭된 총 응답 스펙트럼

최근의 원전 설계에서는 원전의 상황을 통제하는 주요 I&C 기기의 배치 위치가 높아지는 경향이다. 기존 원전의 144 ft에서 신고리 3,4호기부터는 156 ft로 상향되고 UAE의 경우에는 이보다 더 상향될 것으로 예상된다. 이에 따라 총 응답 스펙트럼(FRS, Floor Response Spectrum)의 가속도 수준도 상향되는 경향이며, Fig. 2의 신울진 1,2호기 156 ft에서의 FRS를 보면 ZPA가 1.0 g 수준으로 DGRS의 4배 이상으로 설계되고 있다. 특히 다품종이 열반되는 판넬류의 경우 시험 시 일부분의 판넬 만으로 구성된 Prototype을 대상으로 하며, 기술 기준으로 제시되는 FRS에 비해 최소 1.5배 이상의 가속도 수준과 보다 광역화된 주파수 범위가 요구되고 있다.

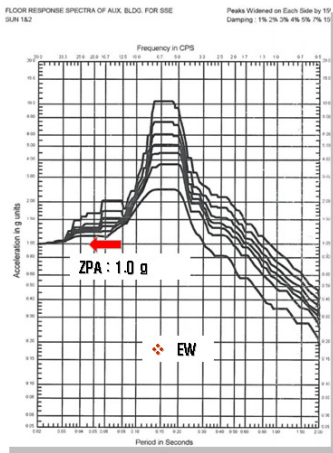


Fig. 2 Floor response spectrum at 156 ft of SUN 1&2 in horizontal direction

2. 진동대 성능 분석

3.1 신울진 1,2호기 주요 FRS 물리적 특성

Fig. 2와 같은 신울진 1,2호기의 156ft FRS가 가지는 물리적 특성을 살펴보면 FRS를 기준으로 합성되는 시간 이력의 변위, 속도, 가속도의 크기를 분석할 필요가 있다. Fig. 3은 예로써 156 ft FRS의 변위 시간 이력이다. 변위는 수평 방향(EW 및 NS) 최대 65 mm, 수직 방향(VS) 최대 35 mm 정도, 속도는 수평 60 cm/s, 수직 35 cm/s 수준이며, 가속도는 수평, 수직 모두 1.2 g 정도로 예측된다.

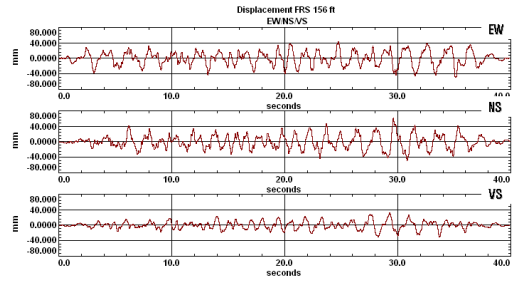


Fig. 3 Displacement time history derived from the floor response spectrum at 156 ft of SUN 1&2

3.2 진동대의 요구 성능

Fig. 3과 같이 신울진 1,2호기의 156ft FRS를 적용할 때 열반되는 판넬류 Prototype의 경우 FRS 보다 최소 1.5배 이상의 성능이 요구되며 현재 한국기계연구원의 대형 6자유도 진동대의 성능과 비교하여 정리하면 Table 1과 같다.

이를 보면 수평 방향의 속도 성능이 미흡하고, 변위도 한계 수준이다. 수평 방향의 속도 한계는 2축 시험 방법을 적용하여 수행 가능하다고 볼 수 있다.

Table 1 Put table title put table title

물리량	요구성능		진동대 성능	
	수평	수직	수평	수직
가속도 (g)	1.8	1.8	2.0	2.0
속도 (cm/s)	90	55	80	80
변위 (mm)	98	55	100	67

(주) 시험체 동하중 20톤 가정

3. 진동대 성능 향상의 필요성 및 제안

원전의 안전성 향상을 위해 내진 기준이 강화되는 경향에 비추어 지반 설계 가속도 기준이 현재 0.3 g에서 0.4 g로 상향 적용될 가능성이 있고, 해외 프로젝트의 경우에는 0.6 g도 수행할 수 있는 설비가 필요한 시점에 있다. 즉 현재의 기준 보다 2배 이상의 기준에 적합한 설비를 준비할 필요가 있다. 판넬류 Prototype의 경우에는 FRS 보다 1.5배 이상의 기준이 요구되므로 가속도 성능 4 g 이상, 속도 성능 2 m/s 정도이고 변위가 최소 150 mm 이상의 진동 진폭을 가지는 20톤 이상의 시험 용량을 갖는 대형 진동대의 도입이 시급하다고 사료된다.