

월성원전 구조물의 지진응답 특성 분석  
Analysis of Seismic Response Characteristics for  
Wolsong Nuclear Power Plant Structures

허택영\* · 이종림\*\* · 김성택\*\*\* · 신진수\*\*\*

Heo, Taek-Young · Lee, Jong-Rim · Kim, Sung-Taeg · Shin, Jin-Soo

---

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the seismic response characteristics of Wolsong nuclear power plant (NPP) structures for the Kyeongju earthquake( $M_L=4.3$ ) occurred on June 26, 1997. The seismograms are obtained from five accelerographs of nuclear power plant at Wolsong, Kyeongbuk. The distance from the epicenter is about 25 km. The peak acceleration (PA) due to the earthquake is 0.0235g, which is far lower value than that of design basis earthquake (DBE). The PA at the containment wall is about twice as large as that at free field. Also, the higher the accelerograph is located in, the larger the PA is measured to be. From the response spectrum analysis, the dominant frequency of the response is close to 4 Hz, which is similar to the characteristic frequency of NPP structures. The quality of seismic data recorded at the free field is poor because of contamination by high frequency waves as a result of reflection and diffraction between ground and NPP structure. We are of opinion that the accelerograph at the free field should be moved approximately twice the building dimension away from the containment structure.

---

1. 서론

원자력발전소는 다량의 방사능 물질을 포함하고 있으므로 만약의 사고 발생시에는 발전소 종사자 및 인근 주민에게 치명적인 피해를 초래할 가능성을 내포하고 있다. 따라서 원전의 모든 시설

---

\*한국전력공사 전력연구원 일반연구원, 정회원

\*\*한국전력공사 전력연구원 책임연구원, 정회원

\*\*\*한국전력공사 전력연구원 선임연구원, 정회원

물은 충분한 안전 설계를 수행하고 있으며, 특히 방사능 안전관련 시설물은 발생 가능한 모든 사고 및 자연재해시에도 그 본래의 기능을 유지할 수 있도록 설계된다. 지진은 이와 같은 발생 가능한 자연재해의 하나로서 원전설계시 가장 중요한 설계하중이 된다. 따라서 원전의 설계시에는 부지에서 발생 가능한 최대의 지진을 설계지진으로 결정하고, 이러한 설계지진에 대하여 별도로 규정된 엄밀한 해석 과정을 통하여 신뢰성 있는 내진설계가 이루어지고 있다. 그러나 아무리 정확한 내진설계가 이루어졌다고 하더라도 설계지진 및 지진발생시 원전시설물의 거동이 설계시 가정 혹은 예상한 것과 다를 수 있다. 이러한 이유로 실제 원전설비에 충분한 지진계측기를 설치하여 원전의 가동기간 중 발생할 수 있는 모든 지진을 정확히 계측하고 이를 신속히 분석한 다음 필요한 후속조치를 취할 필요가 있다. 이를 통하여 지진에 대한 내진안전성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라, 지진계측장치에 기록된 각종 자료 및 정보의 분석을 통하여 원전내진설계기술의 개선 및 발전을 도모할 수 있다.

따라서 본 연구는 지난 6월 26일 경주 남동쪽 6km 지점에서 일어난 리히터 지진규모 4.3의 지진 발생으로 인해 인근에 있는 월성원전의 지진감시시스템이 동작하였을 때 가속도 기록계에 계측된 데이터를 이용하여 원전 구조물의 최대 가속도와 응답스펙트럼을 분석하였다.

## 2. 지진감시시스템 현황

지진감시시스템의 설치목적은 실제로 발생한 지진을 관측하여 설계에 적용한 지진과 비교하고 발생지진이 설계지진을 초과할 경우 발전소의 안전에 미치는 영향을 분석하여 운전가능여부를 결정하기 위함이다. 이를 위하여 지진의 입력부인 자유장과 원자로건물 기초에서 입력지진을 측정하는 시스템과 입력지진에 의한 구조물의 응답을 측정하는 설비를 원자로건물 내부와 기타 내진 등급 I급 구조물에 설치한다.

### 2.1 시스템 현황

지진감시시스템을 구성하는 기기는 시간이력 가속도계(Time-History Accelerograph), 최대 가속도계(Peak Accelerograph), 응답스펙트럼 기록기(Response Spectrum Recorder), 지진스위치(Seismic Switch), 응답스펙트럼 스위치(Response Spectrum Switch) 등으로 구성된다. 이러한 계측 시스템들은 구조물의 응답을 가장 잘 나타낼 수 있는 위치에 설치되어야 하며, 지진운동의 시간이력 확보기능, 한 개 이상의 지점에서 응답스펙트럼 확보, 일정 스펙트럼가속도 초과시 즉각적인 원격통보 및 내부 전원기기에 의한 최대가속도 기록 등과 같은 기능들을 충분히 발휘할 수 있도록 해야 한다.

### 2.2 지진 가속도 검출기 설치 위치

지진 가속도 검출기는 내진설계시 사용된 지진입력운동 및 계산된 시설물(구조물 및 기기)의 지진응답 운동을 확인할 수 있는 지점에 설치되어야 하며 부지설계지진(SDE)값인 0.1g의 10% 이상

시 동작하는 가속도기록계(5대), 부지설계지진값 0.1g이상의 지진 감지시 경보를 울리는 가속도스위치(1대), 발생한 최대 지진의 크기를 기록하는 기계식 최대가속도계(3대)가 설치되어 있다. 설치 위치는 표 1에서와 같이 지진 입력운동 지점인 자유장, 원자로건물 기초와 지진응답 지점인 원자로 지지구조물 기초, 격납건물 벽체 및 보조건물 기초이다.

### 3. 지진계 동작 설정치 및 정보 설정치

지진감시시스템은 지진발생시 발전소 운전원에게 원전을 안전하게 운전 또는 정지시키기 위한 운전정보(지진경보 및 크기)와 지진발생후 지진으로 인한 영향 등 발전소의 안전성 평가를 위한 지진기록 자료를 제공하기 위해 설치된다.

#### 3.1 지진계 동작 설정치

설계기준지진(DBE)은 광역지질조사(반경 320km), 부지지질조사(반경 8km), 기록지진조사 및 역사지진조사를 통하여 국부 및 지역적인 지진 지각구조, 지진의 유사한 지각구조를 갖는 세계 다른 곳에서의 역사적인 지진경향과 극단적인 추정으로 발전소 수명 기간동안 발생할 가능성이 아주 낮은 지진으로부터 부지에 적용되는 잠재적으로 아주 위험한 지진 영향을 줄 것으로 예상되는 지진이다. 또한 운전기준지진(OBE)은 광역 및 국지지질, 지진자료와 부지 하부지질의 특성을 고려할 때 발전소의 운전수명 기간동안에 발전소 부지에 상당한 영향을 줄 것으로 예상되는 지진이다.

원전 구조물의 내진설계시 설계지침서에서는 표 2에서와 같이 설계기준지진의 가속도 크기는 수평방향으로 0.2g, 수직방향으로 0.13g로 규정하고 있으며, 또한 운전기준지진의 가속도 크기는 수평방향으로 0.1g, 수직방향으로 0.067g로 규정하고 있다.

#### 3.2 지진경보 설정점

지진발생시 주제어실 지진경보 시스템은 지진 경보 설정점이 표 3에서와 같이 자유 지표면에서의 최대 지반가속도가 0.01g일 때 지진발생 경보를 울리며, 0.1g에서는 지진발생 권고정지(Advise Trip) 경보가 설정되어 있다. 만약 지진발생 권고정지 경보시 발전소 운전원은 경보발생 상태를 확인하고 각 채널별로 정해진 부지설계지진값을 초과했을시 비상운전 절차서에 따라 발전소를 안전하게 정지시키도록 되어 있다.

### 4. 지진응답 결과 분석

1997년 6월 26일 03시 50분 14초에 지진감시기가 작동하여 지진 경보 설정점인 0.01g에서 지진 경보를 발생하였다. 월성원전의 각 위치별로 설치되어 있는 5개의 가속도 기록계가 모두 작동하

여 지진 가속도 응답을 기록하였다. 이때 기록된 최대 지진 가속도 응답의 기록값은 표 4와 같다. 이 표에서 알 수 있는 바와같이 자유 지표면에서의 최대 가속도 응답은 수평방향이 0.0295g, 수직 방향이 0.0185g로 나타났다. 그리고 원자로건물 기초, 원자로 지지구조물 기초와 격납용기 벽체의 원자로건물 위치별 최대 가속도 크기를 비교했을 때 구조물의 가속도 응답은 원자로건물 기초에서 보다 구조물의 상부 쪽인 격납용기 벽체 위치에서 더 큰 응답이 나타남을 알 수 있다. 이때 격납용기 벽체에서의 최대 가속도 응답은 수평방향이 0.035g로 자유 지표면에서 보다 2배 이상 크게 나타났다.

Fig. 2에서 알 수 있는 바와같이 원자로건물과 보조건물의 지진응답 계측위치에서 계측된 응답 스펙트럼은 약 4Hz에서 탁월진동수가 나타나며 이것은 원자로 구조물이 가지는 고유진동수와 비슷함을 알 수 있다. 또한 Fig. 1 (a)에서 보는 바와 같이 자유 지표면에서의 지진 가속도 응답이 고주파수 영역으로 나타나는 것에서 볼 때 계측 위치가 구조물과 근접해 있기 때문에 구조물의 영향을 받은 것으로 생각된다.

## 5. 결론

자유 지표면에서의 최대 가속도 응답은 수평방향이 0.0295g, 수직방향이 0.0185g로 나타났다. 그리고 원자로건물 기초, 원자로 지지구조물 기초와 격납용기 벽체의 원자로건물 위치별 최대 가속도 크기를 비교했을 때 구조물의 가속도 응답은 원자로건물 기초에서 보다 구조물의 상부 쪽인 격납용기 벽체 위치에서 더 큰 응답이 나타남을 알 수 있다. 이때 격납용기 벽체에서의 최대 가속도 응답은 수평방향이 0.035g로 자유 지표면에서 보다 2배 이상 크게 나타났다.

원자로건물과 보조건물의 지진응답 계측위치에서 계측된 응답스펙트럼은 약 4Hz에서 탁월진동수가 나타나며 이것은 원자로 구조물이 가지는 고유진동수와 비슷함을 알 수 있다. 또한 자유 지표면에서의 지진 가속도 응답이 고주파수 영역으로 나타나는 것에서 볼 때 계측 위치가 구조물과 근접해 있기 때문에 구조물의 영향을 받은 것으로 생각되므로 구조물 평면 최대 치수의 2배 이상 되는 거리<sup>(9)</sup>로 이동해서 설치되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. US NRC, Reg.Guide 1.12, Instrumentation for Earthquakes, Rev.2, 1997
2. US NRC, Reg. Guide 1.166, Pre-Earthquake Planning and Immediate Nuclear Power Plant Operator Post-Earthquake Action, 1997
3. Reg. Guide 1.167, Restart of Nuclear Power Plant Shut Down by Seismic Event, 1997
4. ANSI/ANS-2.2, Earthquake Instrumentation Criteria for Nuclear Power Plants, 1988
5. ANSI/ANS-2.10, Guideline for Retrieval, Review, Processing and Evaluation of Records Obtained from Seismic Instrumentation, 1979
6. Jacobson, J.P., et al, OBE Exceedance and Plant Response to Earthquake Instrumentation and CAV, Proc. of 3rd Symposium on "Current Issues Related to Nuclear Power Plant Structures, Equipment and Piping, Orlando, Fl., Dec. 1990
7. EPRI, NP-5930, A Criterion for Determining Exceedance of the Operating Basis Earthquake, July. 1988
8. EPRI, NP-6695, Guidelines for Nuclear Rspnse to an Earthquake, Dec. 1989
9. EPRI, TR-104239, Seismic Instrumentation in Nuclear Power Plant for Response to OBE Exceedance : Guideline for Implementation, June 1994

표 1 지진 가속도 검출기 설치 위치

검출기 종류	설치위치	수량(대)	작동방법
기록계용 검출기 (전기식 5대)	· 자유 지표면 (EL 100.00)	1	· SDE(0.1g)값의 10% 이상시 동작
	· 원자로건물 기초 (EL 93.90)	1	
	· 원자로 지지구조물 기초 (EL 100.00)	1	
	· 격납건물 벽체 (EL 111.62)	1	
	· 보조건물 기초 (EL 93.90)	1	
경보용 검출기 (전기식 1대)	· 원자로건물 기초 (EL 93.90)	1	· SDE(0.1g)값 이상시 동작 · "원자로 정지 권고" 정보
최대치 기록용 가속도계 (기계식 3대)	· 비상노심 냉각 배관 (R/B EL 112.50)	1	· 지반 및 구조물의 기계적 진동에 따라 기록용 금속 판에 그 진폭을 그어 지진의 최대치를 기록함
	· 원자로 최상부 (R/B EL 117.45)	1	
	· 비상수 배관 (S/B EL 93.90)	1	

표 2 월성의 설계 지진값(근거 : DG-59-01041-1)

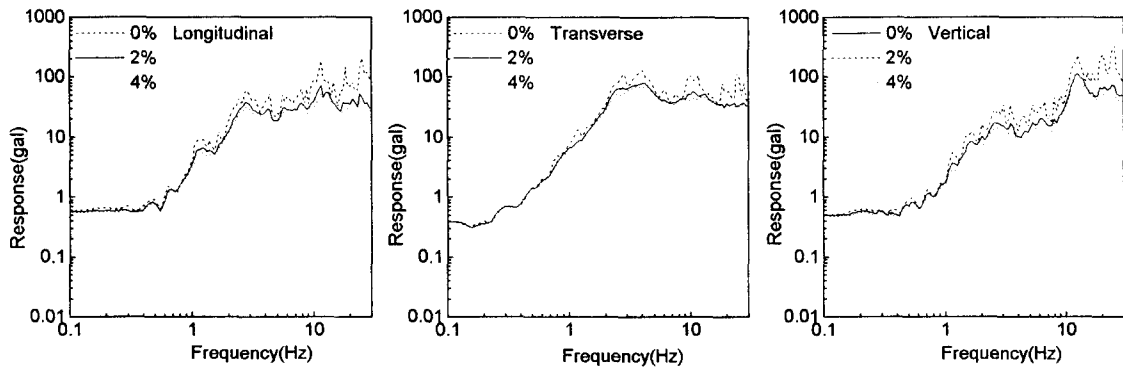
설 계 치	방 향	
	수 평	수 직
· DBE (Desing Basis Earthquake)	0.2g	0.13g
· SDE (Site Design Earthquake)	0.1g	0.067g
· OBE (Operation Basis Earthquake)		

표 3 월성 1호기의 기록계 동작점

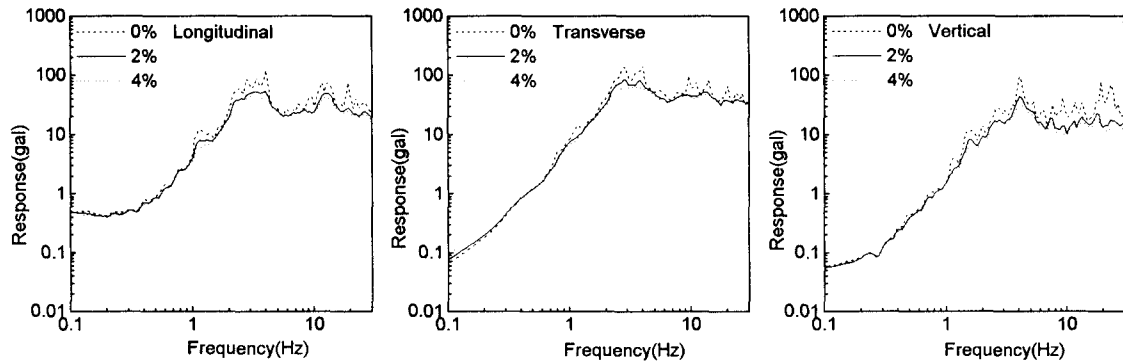
설치위치		방향	Long.(g)	Trans.(g)	Vert.(g)
가 속 도  기 록 계	자유 지표면 (EL 100.00)		0.0100	0.0100	0.0067
	원자로건물 기초 (EL 93.90)		0.0165	0.0165	0.0165
	원자로 지지구조물 기초 (EL 100.00)		0.0170	0.0170	0.0170
	격납용기 벽체 (EL 111.62)		0.0235	0.0230	0.0200
	보조건물 기초 (EL 93.90)		0.0175	0.0150	0.0075
가속도 스위치	원자로건물 기초 (EL 93.90)		0.1650	0.1650	0.1650

표 4 월성 1호기 최대 지진 기록값

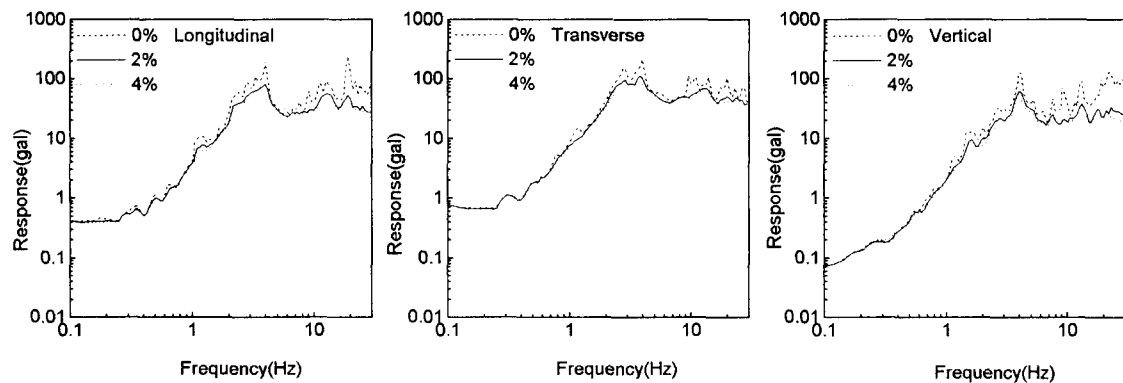
설치위치		방향	Long.(g)	Trans.(g)	Vert.(g)
자유 지표면 (EL 100.00)			0.0150	0.0295	0.0185
원자로건물 기초 (EL 93.90)			0.0145	0.0305	0.0080
원자로 지지구조물 기초 (EL 100.00)			0.0155	0.0345	0.0100
격납용기 벽체 (EL 111.62)			0.0325	0.0350	0.0175
보조건물 기초 (EL 93.90)			0.0095	0.0340	0.0085



(a) Free field (EL 100,00)

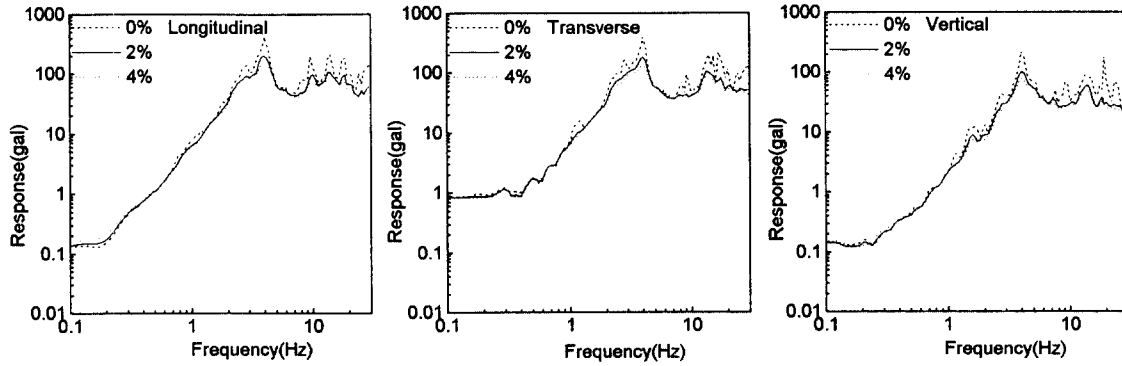


(b) R/B Basement (EL 93.90)

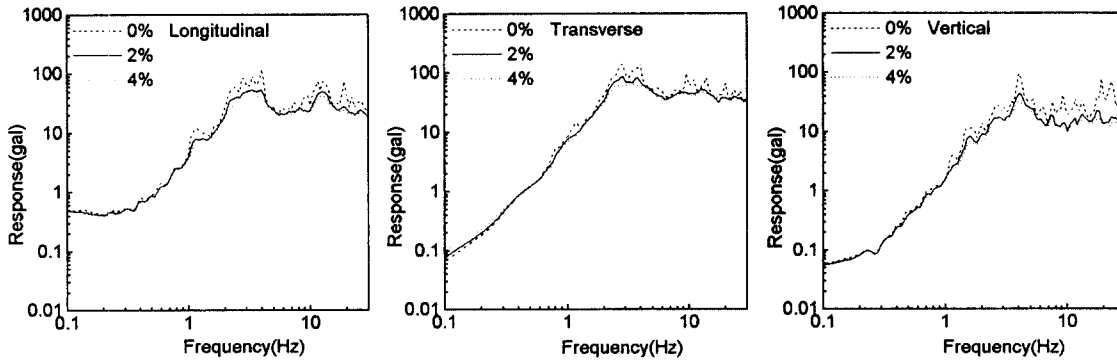


(c) Calandria Wall (EI 100.00)

Fig. 1 Response spectra of the acceleration

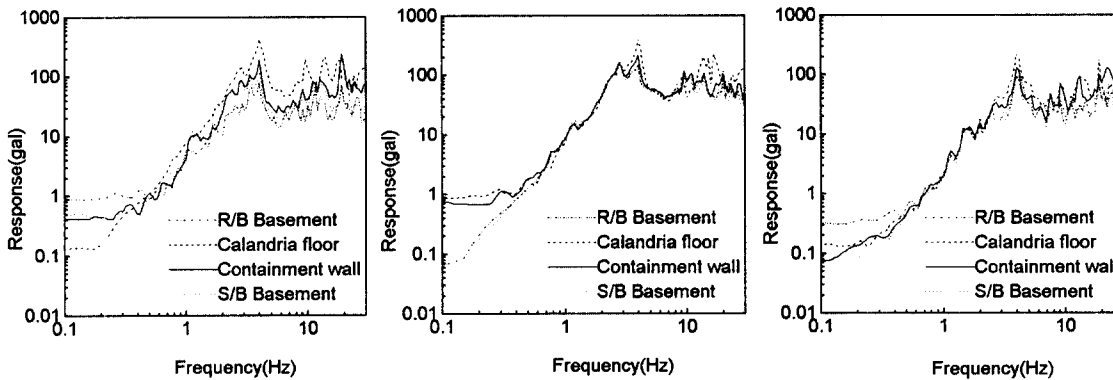


(d) Containment wall (EL 111.62)



(e) S/B Basement (EL 93.90)

Fig. 1 Response spectra of the acceleration(Continued)



(a) Longitudinal

(b) Transverse

(c) Vertical

Fig. 2 Response spectra of the acceleration for each direction(Damping ratio=0)