

# 구조물 및 기기의 한계성능 평가를 위한 고진동수 지진 특성을 반영한 응답스펙트럼 형상

## A Shape of the Response Spectrum for Evaluation of the Ultimate Seismic Capacity of Structures and Equipment including High-frequency Earthquake Characteristics

임승현<sup>1)\*</sup> · 최인길<sup>2)</sup>

Eem, Seung-Hyun<sup>1)\*</sup> · Choi, In-Kil<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>경북대학교 융복합시스템공학부 플랜트시스템전공 조교수, <sup>2)</sup>한국원자력연구원 기계·구조안전연구부 책임연구원

<sup>1)</sup>Assistant Professor, Major in Plant System Engineering, School of Convergence & Fusion System Engineering, Kyungpook National University,

<sup>2)</sup>Principal Researcher, Mechanical and Structural Safety Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute

### / A B S T R A C T /

In 2016, an earthquake occurred at Gyeongju, Korea. At the Wolsong site, the observed peak ground acceleration was lower than the operating basis earthquake (OBE) level of Wolsong nuclear power plant. However, the measured spectral acceleration value exceeded the spectral acceleration of the operating-basis earthquake (OBE) level in some sections of the response spectrum, resulting in a manual shutdown of the nuclear power plant. Analysis of the response spectra shape of the Gyeongju earthquake motion showed that the high-frequency components are stronger than the response spectra shape used in nuclear power plant design. Therefore, the seismic performance evaluation of structures and equipment of nuclear power plants should be made to reflect the characteristics of site-specific earthquakes. In general, the floor response spectrum shape at the installation site or the generalized response spectrum shape is used for the seismic performance evaluation of structures and equipment. In this study, a generalized response spectrum shape is proposed for seismic performance evaluation of structures and equipment for nuclear power plants. The proposed response spectrum shape reflects the characteristics of earthquake motion in Korea through earthquake hazard analysis, and it can be applied to structures and equipment at various locations.

**Key words:** Seismic performance evaluation, Ultimate seismic capacity, Response spectrum shape, Nuclear power plant, Seismic verifications, High-frequency earthquake

## 1. 서 론

2016년 9월 우리나라에서 지진관측이 이루어진 이후 최대지진인 규모 5.8의 지진이 경주에서 발생하였다[1]. 당시 진앙 부근에서 관측된 최대지반가속도는 0.4 g를 초과하는 수준으로 매우 큰 지진동이 관측되었다. 이 지진으로 인해 진앙 근처에 위치한 월성원자력발전소 부지에서 가동 중이던 4기의 원자력발전소가 수동정지하게 되었다. 진앙으로부터 28 km 정도 떨어진 월성 원자력발전소 부지에서 관측된 최대지반가속도는 0.098 g로

운전기준지진인 0.1 g에 미치지 못하는 값이었으나 가속도 응답스펙트럼에서 일부 진동수 구간의 스펙트럴 가속도 값이 운전기준지진의 응답가속도를 초과하여 수동정지에 이르게 되었다. 이후 2017년 11월 포항에서 또 다시 규모 5.4의 지진이 발생하였으며 진앙에서 가장 가까운 월성원자력발전소 부지에서 관측된 최대지반가속도는 0.013 g로 경주지진에 비해 매우 낮게 관측되었다[2]. 그러나 포항지진으로 인해 진앙지 부근에 위치한 많은 건축구조물이 큰 피해를 입으면서 지진에 대한 막연한 공포와 원자력시설의 지진안전성 확보에 대한 요구가 크게 증대되었다[3]. 특히 동일본 대지진으로 인한 후쿠시마 사고와 경주지진으로 인해 원자력발전소의 설계 지진을 초과하는 지진에 대해서도 안전성을 확보할 것을 요구하고 있다. 경주지진 및 포항지진으로부터 관측된 지진동을 분석한 결과 강진지속시간

\*Corresponding author: Eem, Seung-Hyun

E-mail: eemsh@knu.ac.kr

(Received May 28, 2019; Revised August 2, 2019; Accepted October 22, 2019)

이 짧고 최대지반가속도가 규모에 비해 비교적 큰 전형적인 고진동수 지진동의 특성을 보여주었다 [4, 5]. 최근 정부에서 발표한 바에 따르면 포항지진의 경우 지열발전소에서 촉발된 지진으로 결론지어졌다. 그러나 경주지진과 같은 자연지진과 포항지진과 같은 촉발지진에서 나타나는 진동의 특성은 매우 유사하게 나타났으며 이로 인해 국내에서 가동중인 원자력발전소의 지진안전성에 대한 우려와 더불어 고진동수 지진동에 대한 안전성 확보가 시급히 해결되어야 할 문제로 대두되었다.

우리나라의 원자력발전소 내진설계에는 미국 Nuclear Regulatory Commission (NRC)에서 제시하고 있는 표준응답스펙트럼 [6]이 사용되어 왔으며 최근 들어 건설되고 있는 APR 1400에서는 표준응답스펙트럼을 고진동수 지진동 부분을 일부 보완한 스펙트럼을 사용하여 설계하였다. 이는 과거 수십 년 전부터 미국 중동부 지방에서 위치한 원자력발전소 부지의 부지고유 지진동 평가 결과에서 나타난 고진동수 지진동 특성이 반영된 것이라고 할 수 있다. 경주지진 및 포항지진으로부터 관측된 지진동에서 고진동수 지진동 특성이 나타남에 따라 설계지진과 진동수 성분에서 매우 다른 특성을 보여주고 있다. 이는 미국 NRC의 표준응답스펙트럼은 미국 서부지역에서 관측된 강진기록을 이용하여 작성한 것으로 국내의 지체구조나 지반특성 등이 상이함에 따라 나타난다고 볼 수 있다. 우리나라에서 가동중인 원전의 지진안전성 확보를 위해서는 이러한 지진동 특성을 반영한 지진안전성 평가가 이루어져야 한다. 특히 최근 국내에서 가동중인 원자력발전소의 내진성능은 확률론적 방법에 근거한 지진취약도로부터 산출된 HCLPF (HCLPF: High Confidence of Low Probability of Failure)를 기준으로 평가하고 있으며 지진취약도 평가 시 국내 지진특성이 반영된 지진동을 사용하는 것이 합리적인 내진성능 평가의 기본이라고 할 수 있다.

구조물 및 기기의 내진성능 평가 즉, 한계성능 평가는 구조물 및 기기의 위치에서의 층응답스펙트럼 형상 혹은 일반화된 응답스펙트럼 형상을 기준으로 ZPA (영주기속도)를 증가하며 진동대 시험을 수행하여 한계성능을 평가한다. 또한 한계성능 시험을 위한 응답스펙트럼의 형상은 국내 지진동 특성을 반영하여야 한다. 구조물 및 기기의 한계성능 평가 수행 시 구조물 및 기기의 위치에 따라 진동대의 입력지진동의 응답스펙트럼의 형상이 다르게 된다. 이러한 경우 일반화된 응답스펙트럼을 활용하면 효율적으로 한계성능 시험을 수행할 수 있으나 국내의 경우 제안된 응답스펙트럼 형상이 없다. 본 연구에서는 국내 지진특성이 반영된 지진동을 바탕으로 보다

다양한 위치의 구조물 및 기기의 한계성능 평가에 활용이 가능한 일반화된 응답스펙트럼 형상을 제안하였다.

## 2. 확률론적 지진재해도 평가

국내 지진동 특성이 반영된 응답스펙트럼 형상을 제안하기 위하여 확률론적 지진재해도 평가를 수행 하였다. 확률론적 지진재해도 평가는 울진원자력발전소 부지에 대하여 수행 하였다. 울진원자력발전소 부지의 등재해도 응답스펙트럼을 얻기 위하여 확률론적 지진재해도 연구를 참고 하였다 [7, 8]. 지진지체모델 전문가 4팀을 구성하여 2000년 이후 국내 원자력발전

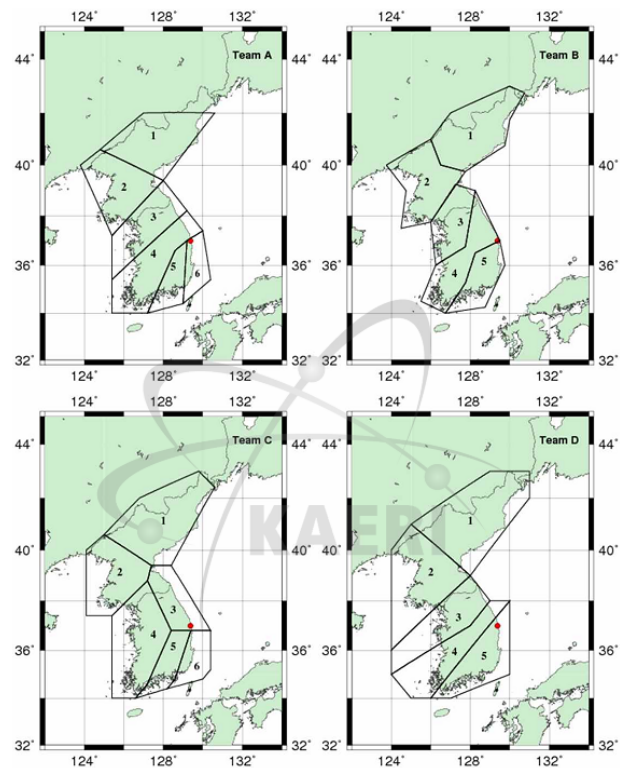


Fig. 1. Seismic source models for probabilistic seismic hazard analyses [8]

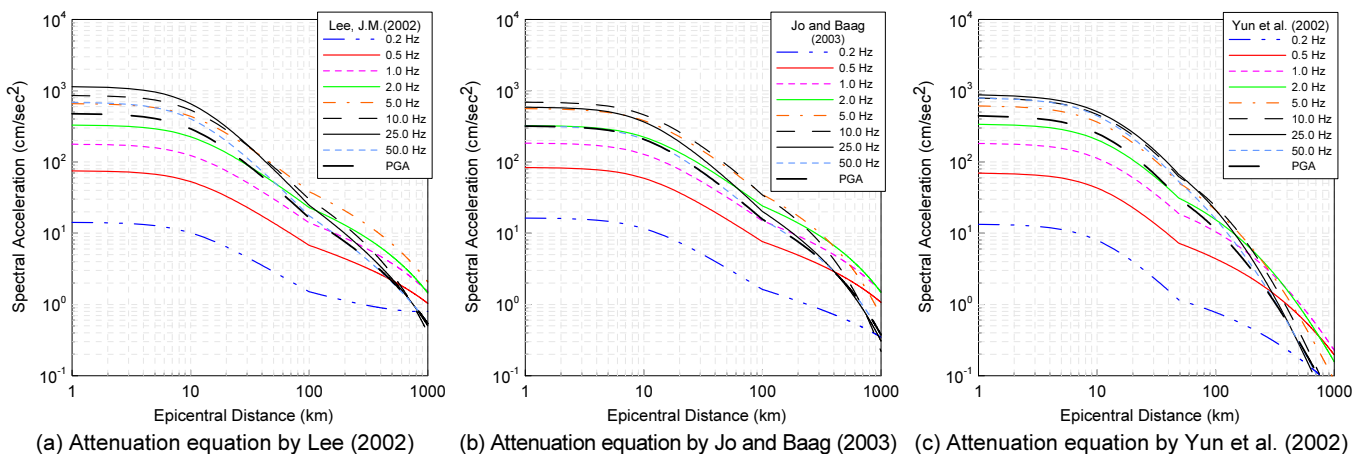


Fig. 2. Attenuation equation

소의 확률론적 지진재해도 분석에 사용된 11개의 지진지체모델에 대한 각 전문가 팀의 점수를 바탕으로 4개의 지진지체모델을 Fig. 1과 같이 선정하였다. 각 지진지체모델에 대한 입력변수를 산정하기 위하여 9명의 국내 지진학 전문가 패널을 구성하였다. 입력변수의 불확실성을 저감하고자 각 전문가들의 의견을 반영한 논리수목을 구성하여 입력변수를 산정하였다.

감쇄식은 2000년 이후 국내에서 개발된 감쇄식 3개 Lee (2002); Jo and Park (2003); Yun et al. (2005)이 개발한 식을 활용하였으며 각 감쇄식은 Fig. 2에 나타내었다 [9-11]. 국내 지진 전문가의 의견을 반영하여 각 감쇄식의 가중치는 US Nuclear Regulatory Commission. (1997)의 “Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on Uncertainty and Use of Experts”의 방법으로 0.3, 0.4, 0.3으로 주었다 [12]. 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0, 25.0, 50.0, 100.0 Hz에 대한 감쇄식을 활용하였으며, 최대지반가속도는 100.0 Hz 감쇄식을 활용하였다.

선정된 지진지체모델과 감쇄식을 바탕으로 지진재해도 곡선을 계산하면 다음 Fig. 3과 같다.

각 감쇄식에 대한 지진재해도 곡선을 활용하여 1E-4에 대해 등재해도 응답스펙트럼을 작성하였다. 계산된 등재해도 응답스펙트럼은 Fig. 4에 나

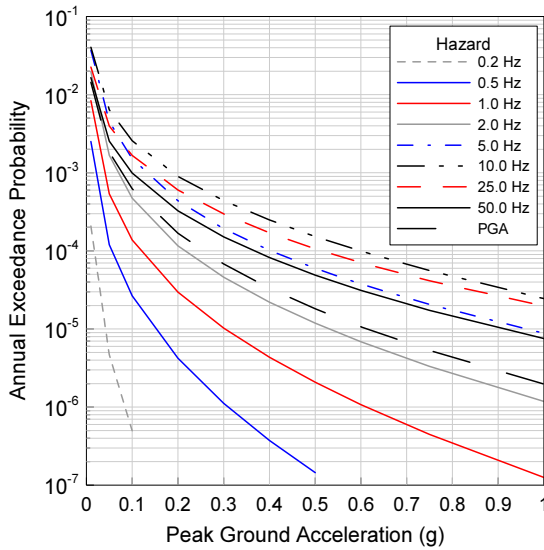


Fig. 3. Mean hazard curve

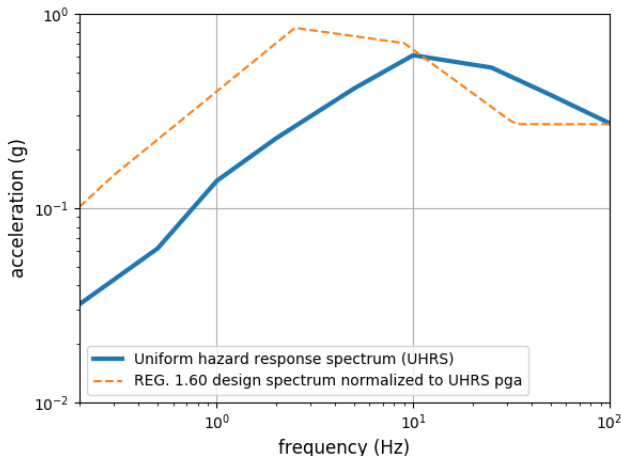


Fig. 4. Uniform hazard response spectrum (1E-4)

타내었다. 등재해도 응답스펙트럼의 형상은 NRC의 Regulatory Guide 1.60의 설계응답스펙트럼 형상보다 상대적으로 10 Hz 이상에서 고진동수 성분이 강한 것을 알 수 있다.

### 3. 원자력발전소의 지진응답해석

원자력발전소는 국내에 많이 건설된 한국형 표준원자력발전소인 OPR 1000 (Optimized Power Reactor 1000)을 대상으로 하였다. 원자력발전소 OPR1000의 구조도는 Fig. 5에 나타내었다. 원자력발전소의 층응답스펙트럼을 도출하기 위하여, 원자력발전소의 지진응답해석을 수행 하였다. 입력지진은 확률론적 지진재해도 분석을 통해 구해진 등재해도 응답스펙트럼을 활용하였다.

#### 3.1 입력지진

입력지진은 등재해도 응답스펙트럼을 만족하는 입력지진 생성하였다. 입력지진 시간이력은 수평 2방향과 수직방향의 세 가지 방향에 대한 시간 이력이 1세트이다. 본 연구에서는 입력지진에 의한 불확실성을 줄이고 응답스펙트럼의 평균 형상을 선정하고자 입력지진 총 5세트를 생성하여 지진 응답해석에 활용하였다. 각 입력지진 시간이력은 지속시간 약 20초, 시간 간격 0.005초이다. P-CARES를 활용하여 등재해도 응답스펙트럼에 부합되도록 지진입력 신호를 생성을 하였다 [13]. P-CARES는 반복법을 사용하여 랜덤신호를 목표 응답스펙트럼에 부합되도록 변환한다. 변환된 신호는 “Baseline correction”을 통해 속도 및 변위가 최종적으로 “0”이 되도록 하며 마지막으로 “Cutting and flipping”을 통해 목표로 한 최대지반가속도에 부합되도록 생성한 지진신호를 수정한다 [13]. 작성된 지진 시간이력 및 평균 응답스펙트럼을 Fig. 6 및 Fig. 7에 나타내었다.

#### 3.2 원자력발전소의 지진응답해석

등재해도 응답스펙트럼을 입력지진으로 하는 원자력발전소의 층응답스펙트럼을 작성하기 위하여, 지진응답해석을 수행 하였다. 지진응답해석을 수행한 건물은 4개의 주요건물 즉, 안전관련 구조물이며, 다음과 같다.

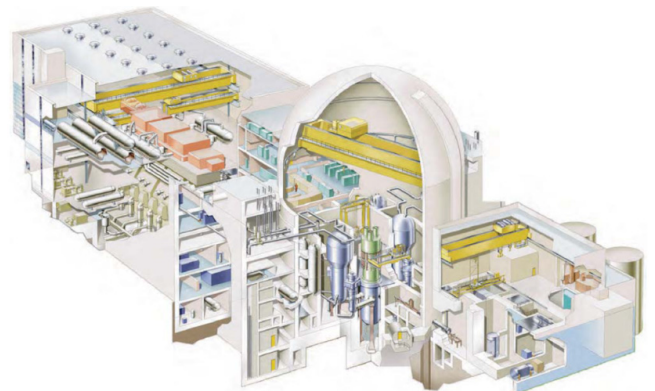


Fig. 5. Layout of Optimized Power Reactor 1000 (OPR1000)

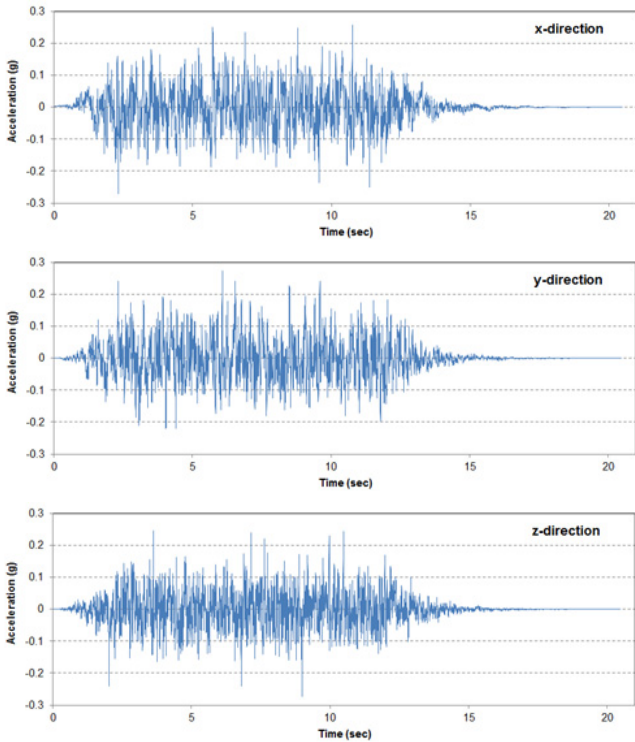
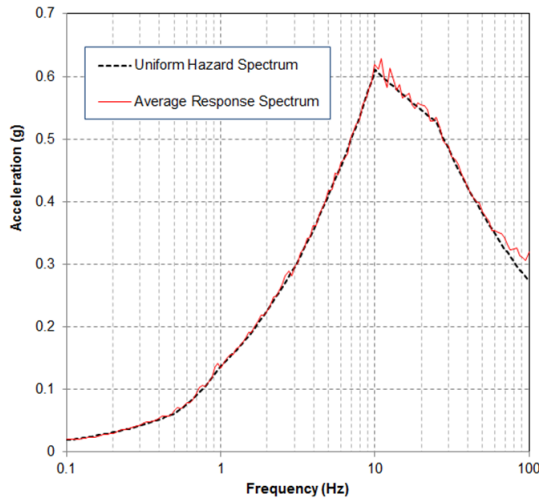


Fig. 6. Acceleration time history for uniform hazard response spectrum

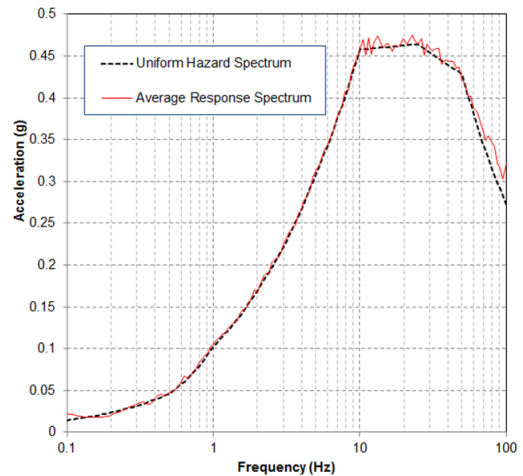
- 원자로 건물
- 보조건물 집합체
- 기기 냉각수 열교환기 건물
- 필수용수 취수구조물

원자로 건물은 포스트-텐션 콘크리트의 원통형 벽체와 반구형 돔구조물, 철근콘크리트의 내부구조물로 구성되어 있으며, 다른 구조물과 구조적으로 분리되어 있다. 원통형 벽체는 내부구조물과 각각 EL. 100 ft, 122 ft, 142 ft에서 방사형으로 설치된 철골보로 연결되며, 철골보 상부에는 철제 그레이팅과 철근콘크리트 슬라브가 설치되어 있다. 원자로 건물은 암반위에 설치된 원형 철근콘크리트기초 위에 고정되어 있다. 보조건물 집합체는 보조건물, 터빈건물, 출입통제건물로 구성되며 보조건물은 원자로건물과 터빈건물 사이에 위치한다. 보조건물 집합체는 암반 위의 철근콘크리트 슬라브 기초, 전단벽, 내부 격벽 및 슬라브로 구성되는 전단벽 구조물이다. 각 건물들은 EL. 100'-6"에서 슬라브를 공유하여 연결된다.

기기 냉각수 열교환기 건물은 암반 위 철근콘크리트 기초에 고정된 독립 건물이며, 철근콘크리트 전단벽으로 구성된 비교적 간단한 전단벽 구조물이다. 건물은 지붕층을 포함한 두 개의 철근콘크리트 슬라브와 전단벽으로 구성되어 있다. 필수용수 취수구조물은 EL. 69'-0"의 기초슬라브, EL. 90'-0"의 1층슬라브, EL. 109'-0"의 지붕슬라브로 구성되어 있으며, 각 슬

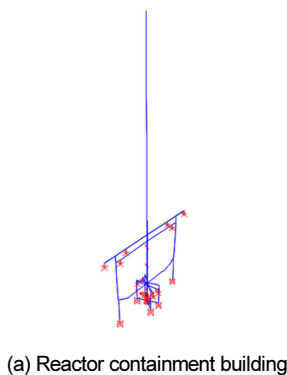


(a) Horizontal direction

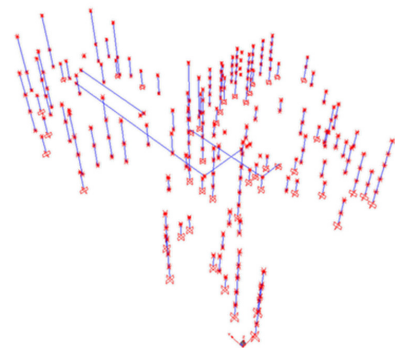


(b) Vertical direction

Fig. 7. Average response spectrum of generated acceleration time history



(a) Reactor containment building



(b) Auxiliary-turbine-access control building complex

Fig. 8. Finite element model of nuclear power plant

**Table 1.** Material properties of each building [14]

Structure	Material	Strength (MPa)	Modulus of Elasticity (MPa)	Shear Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Weight Density (kg/m <sup>3</sup> )
Reactor Building	Reinforced Concrete	37.92	29159.10	12463.24	0.17	2402.77
	Post-tensioned Concrete	37.92	29159.10	12463.24	0.17	2402.77
Other Building	Structural Steel	344.74	199948.13	779979.25	0.3	7849.05
	Reinforced Concrete	27.58	26434.71	11294.96	0.17	2402.77

**Table 2.** Damping ratio [14]

Structure	Damping
Post-tensioned Containment Shell	5%
Containment Internal Reinforced Concrete Structures	7%
Reinforced Concrete Structures	7%
Steel Structure	7%

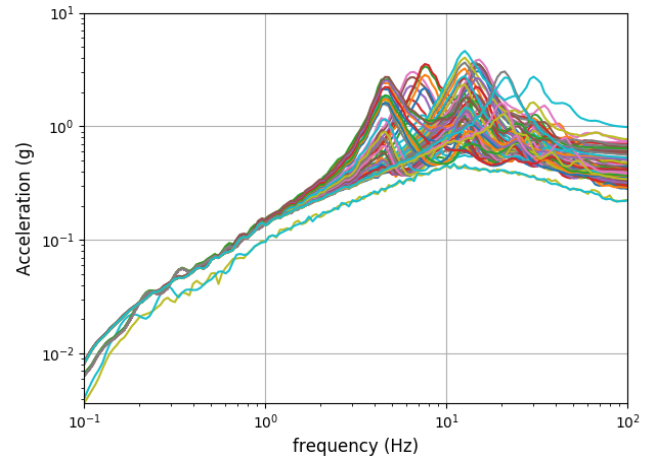
라브는 철근콘크리트 전단벽으로 연결된 전단벽 구조물이다. 원자로 건물과 보조건물의 유한요소 모델을 Fig. 8에 나타내었다.

본 연구에서는 SAP2000 유한요소 해석프로그램이 사용되었다. 원자력 발전소는 탄성설계를 수행하여 탄성요소를 활용하였으며, 각 건물의 모델은 집중질량-보요소 모델로 작성을 하였다. 지진응답해석에 사용된 각 건물의 재료 특성과 감쇠비는 다음 Table 1과 Table 2와 같다[14]. 각 건물에 대하여 5세트의 지진 시간이력에 대한 지진응답해석이 수행되었으며, 각 건물 층별 지진응답을 계산하였다. 계산된 층별 지진응답으로부터 층응답스펙트럼은 각 시간이력 세트에 대한 응답스펙트럼을 방향별로 평균하여 작성하였다.

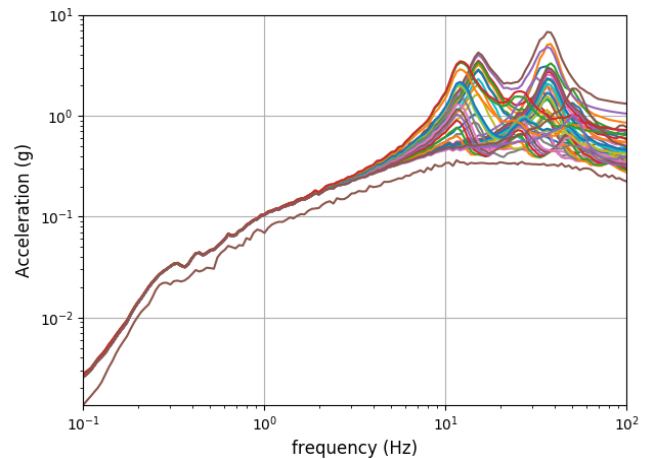
#### 4. 한계성능평가를 위한 응답스펙트럼 형상

원자력발전소의 확률론적 지진 안전성 평가 수행 시 구조물, 시스템 및 기기(SSCs: Structures, Systems & Components)의 지진 취약도 곡선을 필요로 한다. SSCs의 지진 취약도 곡선은 SSCs의 위치에서의 지진 응답스펙트럼을 바탕으로 계산이 된다. 이때, SSCs의 지진 응답스펙트럼은 국내의 지진동 특성이 반영되어야 한다. 또한 SSCs의 지진 응답스펙트럼은 SSCs의 설치 위치에 따라 다르게 된다. 따라서 본 연구에서는 다양한 위치에 설치된 SSCs에 대해 국내 지진동의 특성이 반영된 지진 응답스펙트럼 형상을 제안하고자 한다. 본 연구에서는 국내 지진동 특성을 반영하고자 확률론적 지진 재해도 분석이 수행되었다. 그 결과 국내 지진동 특성은 NRC의 Regulatory Guide 1.60의 설계응답스펙트럼 보다 고진동수 성분이 많은 것을 확인 할 수 있다. 다양한 위치의 SSCs에 적용 가능케 하기 위하여 원자력발전소 주요건물 4개에 대해 지진응답해석을 수행 하였다. 따라서, 원자력발전소의 구조물 및 기기의 한계성능평가를 위한 응답스펙트럼의 형상을 원자력발전소의 층응답스펙트럼을 바탕으로 도출 하였다. 등재해도 응답스펙트럼을 입력으로 하는 원자력발전소 건물 4개에서 도출된 층응답스펙트럼을 중첩하여 나타내면 다음 Fig. 9과 같다.

Fig. 9에서 중첩된 층응답스펙트럼을 ZPA를 1g로 정규화 하여 그림을 작성하면 다음 Fig. 10과 같다.



(a) Horizontal direction



(b) Vertical direction

**Fig. 9.** Floor response spectrums of nuclear power plant

한계성능 평가를 위한 입력응답스펙트럼의 형상을 단순화하여 다음 Fig. 11과 같이 A에서 F까지의 다섯 개의 포인트로 결정하였다.

한계성능 평가를 위한 입력지진응답스펙트럼의 형상은 두 정규화된 층응답스펙트럼을 바탕으로 도출 되었다. 하나는 정규화된 응답스펙트럼을 대부분 포괄하는 응답스펙트럼 형상 A이며, Fig. 12 및 Table 3과 같이 산정하였다.

다른 하나는 정규화된 응답스펙트럼의 평균을 포괄할 수 있는 응답스펙트럼의 형상 B이다. 제안하는 두 응답스펙트럼 형상을 Fig. 13 및 Table 4와 같이 산정하였다.

응답스펙트럼 형상 A는 보수적으로 결정되었으며 정규화된 층응답스펙트럼을 대부분 포괄한다. 응답스펙트럼 형상 B는 상대적으로 응답스펙

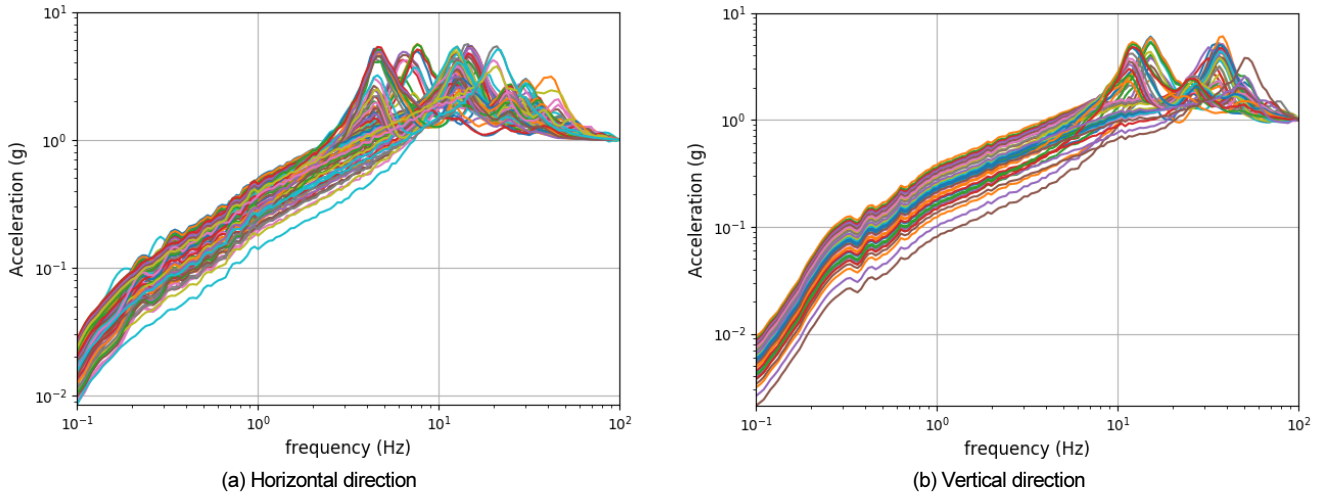


Fig. 10. Normalized floor response spectrum

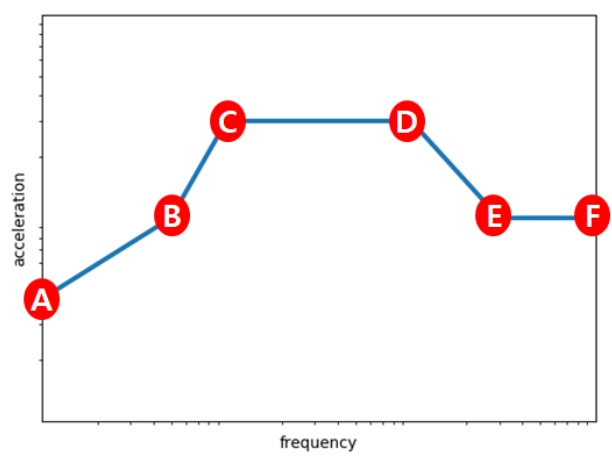


Fig. 11. Determination response spectrum shape from 5 points

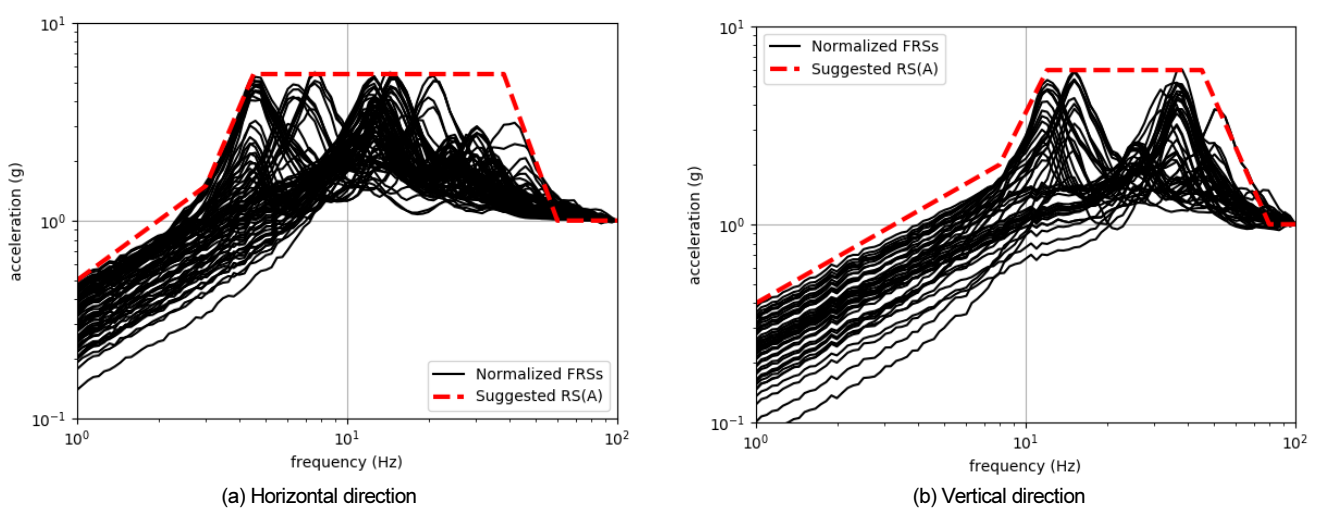
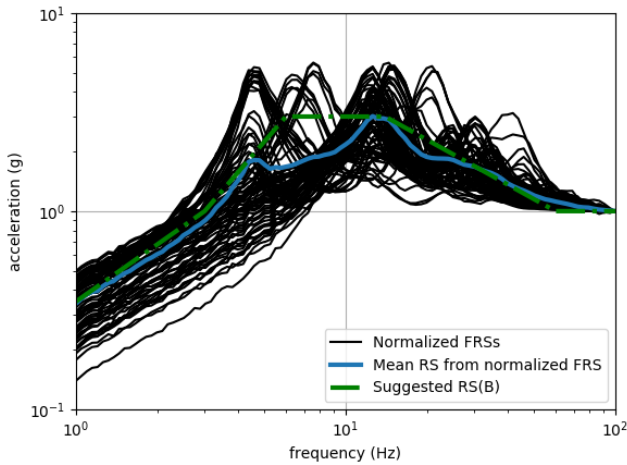


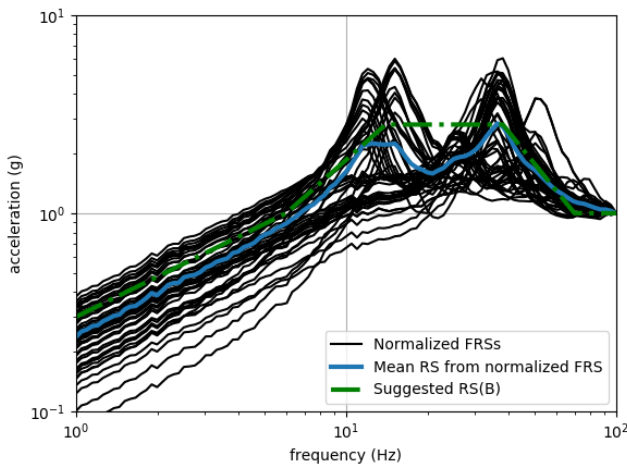
Fig. 12. Suggested response spectrum shape A

**Table 3.** Suggested response spectrum shape - A

Direction		A	B	C	D	E	F
HOR.	freq. (Hz)	1.0	3.0	4.5	35.0	60.0	100.0
	acc. (g)	0.5	1.5	5.5	5.5	1.0	1.0
VER.	freq. (Hz)	1.0	8.0	12.0	40.0	80.0	100.0
	acc. (g)	0.4	2.0	6.0	6.0	1.0	1.0



(a) Horizontal direction



(b) Vertical direction

**Fig. 13.** Suggested response spectrum shape B

**Table 4.** Suggested response spectrum shape - B

Direction		A	B	C	D	E	F
HOR.	freq. (Hz)	1.0	3.0	6.0	14.0	60.0	100.0
	acc. (g)	0.35	1.0	3.0	3.0	1.0	1.0
VER.	freq. (Hz)	1.0	6.0	14.0	38.0	70.0	100.0
	acc. (g)	0.3	1.0	2.8	2.8	1.0	1.0

트럼 형상 A보다 비보수적이며 정규화된 응답스펙트럼의 평균을 포괄한다. 제안한 두 응답스펙트럼 모두 국내 울진부지의 지진동 특성이 반영이 되었으며, 원자력발전소의 다양한 건물에 대해 작성된 응답스펙트럼으로부터 도출되어 다양한 위치의 구조물 및 기기의 한계성능 평가에 활용이 가능하다. 구조물의 및 기기의 한계성능 평가는 주어진 응답스펙트럼 형상을 기준으로 ZPA Level을 증가 시키며 한계성능 평가 수행이 가능하다.

## 5. 결론

2016년 및 2017년 국내에서 발생한 지진의 응답스펙트럼의 형상을 분석한 결과 원자력발전소의 설계스펙트럼인 NRC Regulatory Guide 1.60 설계스펙트럼 형상 보다 고진동수 영역에서 고진동수 성분이 큰 것으로 분석 되었다. 우리나라에서 가동중인 원자력발전소의 지진안전성 확보를 위해서는 이러한 지진동 특성을 반영한 지진안전성 평가가 이루어져야 한다. 따라서 구조물 및 기기의 한계성능 시험 시 국내 지진동 특성이 반영된 응답스펙트럼을 바탕으로 시험이 이루어져야 한다. 일반적으로 구조물 및 기기 위치에서의 응답스펙트럼 형상 혹은 일반적인 응답스펙트럼 형상을 활용한다. 일반적인 응답스펙트럼 형상은 다양한 위치의 구조물 및 기기에 적용이 가능하여 매우 효율적이다. 본 연구에서는 다양한 위치의 구조물 및 기기의 한계성능 평가를 위한 응답스펙트럼의 형상을 제안한다. 국내 지진동의 특성을 반영하기 위하여 울진원자력발전소 부지의 지진재해도 분석을 수행하여 등재해도 응답스펙트럼을 도출하였다. 도출된 등재해도 응답스펙트럼을 바탕으로 원자력발전소의 주요 건물 4개에 대하여 지진응답해석을 수행하여 주요위치에서의 응답스펙트럼을 작성하였다. 정규화된 응답스펙트럼을 바탕으로 한계성능 평가에 활용이 가능한 응답스펙트럼 형상 A와 형상 B 2개를 제안하였다. 하나는 정규화된 응답스펙트럼을 포괄하는 응답스펙트럼 형상과 정규화된 응답스펙트럼의 평균을 포괄하는 응답스펙트럼 형상을 제안하였다. 제안된 두 응답스펙트럼 형상은 고진동수가 강한 국내 지진동 특성을 반영하였으며, 다양한 위치에 설치된 구조물 및 기기에 활용이 가능하다.

### / 감사의 글 /

본 연구는 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 201715101019 10).

### / REFERENCES /

1. Korea Meteorological Administration, Earthquake Notification - 2016. 9. 12. 20:37. Official notice. c2016.
2. Korea Meteorological Administration, Earthquake Notification - 2017. 11. 15. Official notice. c2017.
3. Central Disaster Safety Measures Headquarters, Press Releases: Recovery cost of Pohang earthquake; c2017 Dec 6.
4. Eem SH, Choi IK, Seismic Response Analysis of Nuclear Power Plant Structures and Equipment due to the Pohang Earthquake, Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, 2018 Apr;22(3): 113-119.
5. Eem SH, Yang BJ, Jeon HM, Earthquake Damage Assessment of Buildings Using Opendata in the Pohang and the Gyeongju Earthquakes, Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, 2018 Apr;22(3):121-128.
6. US Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.60: Design

- Response Spectra for Seismic Design of Nuclear Power Plants, c2014.
7. Seo JM, Choi IK, Rhee HM, Kim MK. Probabilistic Seismic Hazard Analysis Procedure and Application for Nuclear Power Plant Sites, KAERI/TR-4633, c2012.
  8. Seo JM, Rhee HM, Hahm DG, Kim JH, Choi IK, Kim IK. Development of Ground Motion Response Spectra Considering Site Amplification Effect. KAERI/TR-5373, c2013.
  9. Lee JM. A study on the characteristics of strong ground motions in southern Korea, KINS/HR-422, c2002.
  10. Jo ND, Park CU. Estimation of Spectrum Decay Parameter and Stochastic Prediction of Strong Ground Motions in Southeastern Korea. Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, 2003 Dec;7(6):59-70.
  11. Yun KH, Park DH, Choi WH, Chang CJ, Lee DS. Development of site-specific ground-motion attenuation relations for Nuclear Power Plant sites and study on their characteristics. In EESK fall workshop, c2005, p. 23-24.
  12. US Nuclear Regulatory Commission. Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on Uncertainty and Use of Experts. NUREG/CR-6372, c1997.
  13. US Nuclear Regulatory Commission. P-CARES: Probabilistic Computer Analysis for Rapid Evaluation. NUREG/CR-6922, c2007, 158p.
  14. Jacekorea. Seismic Fragility and Analysis of Hanul Nuclear Power Plant, Report, Korea, c2015.