

# 구조물 및 기기의 내진성능 평가를 위한 고주파수 지진에 의한 원자력발전소의 지진응답 증폭계수

## Seismic Response Amplification Factors of Nuclear Power Plants for Seismic Performance Evaluation of Structures and Equipment due to High-frequency Earthquakes

임승현<sup>1)</sup> · 최인길<sup>2)</sup> · 전법규<sup>3)</sup> · 박신영<sup>4)\*</sup>

Eem, Seung-Hyun<sup>1)</sup> · Choi, In-Kil<sup>2)</sup> · Jeon, Bub-Gyu<sup>3)</sup> · Kwag, Shinyoung<sup>4)\*</sup>

<sup>1)</sup>경북대학교 융복합시스템공학부 플랜트시스템전공 조교수, <sup>2)</sup>한국원자력연구원 기계·구조안전연구부 책임연구원, <sup>3)</sup>부산대학교 지진방재연구센터 연구교수, <sup>4)</sup>한밭대학교 건설환경공학과 조교수

<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, <sup>3)</sup>Research Professor, Seismic Research and Test Center, Pusan National University, <sup>4)</sup>Assistant Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Hanbat National University

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

Analysis of the 2016 Gyeongju earthquake and the 2017 Pohang earthquake showed the characteristics of a typical high-frequency earthquake with many high-frequency components, short time strong motion duration, and large peak ground acceleration relative to the magnitude of the earthquake. Domestic nuclear power plants were designed and evaluated based on NRC's Regulatory Guide 1.60 design response spectrum, which had a great deal of energy in the low-frequency range. Therefore, nuclear power plants should carry out seismic verification and seismic performance evaluation of systems, structures, and components by reflecting the domestic characteristics of earthquakes. In this study, high-frequency amplification factors that can be used for seismic verification and seismic performance evaluation of nuclear power plant systems, structures, and equipment were analyzed. In order to analyze the high-frequency amplification factor, five sets of seismic time history were generated, which were matched with the uniform hazard response spectrum to reflect the characteristics of domestic earthquake motion. The nuclear power plant was subjected to seismic analysis for the construction of the Korean standard nuclear power plant, OPR1000, which is a reactor building, an auxiliary building assembly, a component cooling water heat exchanger building, and an essential service water building. Based on the results of the seismic analysis, a high-frequency amplification factor was derived upon the calculation of the floor response spectrum of the important locations of nuclear power plants. The high-frequency amplification factor can be effectively used for the seismic verification and seismic performance evaluation of electric equipment which are sensitive to high-frequency earthquakes.

**Key words:** High-frequency earthquake, Seismic performance evaluation, Nuclear power plant, Floor response spectrum, Amplification factor, High-frequency amplification factor

## 1. 서론

2016년 9월 경주에서 규모 5.8의 지진이 발생하여 진앙 근처에 위치한 월성원자력발전소 부지에서 가동 중이던 4기의 원자력발전소가 수동정지

하였다[1]. 월성원자력발전소 부지는 진앙에서 28 km 떨어져 있으며, 운전기준지진의 응답스펙트럼 일부 진동수 구간에서 응답가속도를 초과하였다[2]. 이후 2017년 11월에 규모 5.4의 포항지진이 발생하여 진앙지 부근 지역의 구조물에 피해가 발생하였다[3]. 두 지진에 의해 원자력시설에 대한 안전성에 대한 우려가 확산되었다. 두 지진의 특성을 분석한 결과, 두 지진의 응답스펙트럼은 상대적으로 원자력발전소의 설계응답스펙트럼 보다 고주파수 영역에서 지진응답스펙트럼의 크기가 설계 지진응답스펙트럼 세기를 초과하는 것으로 나타났다[4, 5]. 이에 따라, 국내에서 가동 중인 원자

\*Corresponding author: Kwag, Shinyoung

E-mail: [skwag@hanbat.ac.kr](mailto:skwag@hanbat.ac.kr)

(Received January 22, 2020; Revised February 24, 2020; Accepted February 27, 2020)

력발전소의 지진 안전성에 대한 우려와 더불어 고주파수 지진동에 대한 안전성 확보가 시급히 해결되어야 할 문제로 대두되었다. 미국의 경우, 미국 중동부 지역에서의 지진동 특성이 고주파수 영역에서 많은 진동을 포함하고 있으나 고주파 입력지진에 의한 원자력발전소의 시스템, 구조물 및 기기가 올바르게 작동하는지에 대한 연구는 제한적으로 이루어졌다 [6]. EPRI에서는 계전기와 같은 전기적 구성요소가 있는 기기의 경우 16 Hz 이상에서 정확히 밝혀지지 않은 가속도에 민감한 특성이 있다고 하였다 [7]. 그 후 10 Hz 이상의 고주파 지진에 의해 계전기 및 전기기기의 출력신호에 영향을 줄 수 있다고 하였다 [8].

우리나라 원자력발전소의 내진설계는 미국 Nuclear Regulatory Commission (NRC)에서 제시하고 Regulatory Guide 1.60(REG 1.60)의 설계응답스펙트럼 [9]이 사용되어왔다. 하지만 NRC의 REG 1.60 설계응답스펙트럼은 경주지진과 포항지진으로 미루어 보아 국내 지진동 특성을 충분히 반영하지 못한다. 즉, 국내의 지진동특성이 REG 1.60 설계응답스펙트럼과 다소 차이가 있음을 나타낸다. 국내의 지진동 특성을 반영하기 위해서는 REG 1.60 설계응답스펙트럼 보다 국내 지진동 특성이 반영된 등재해도 응답스펙트럼을 활용하는 것이 보다 합리적이다 [2]. 원자력발전소의 시스템, 구조 및 기기의 내진 설계 및 평가는 REG 1.60 설계응답스펙트럼을 바탕으로 이루어 졌다. 그리고 많은 원자력발전소의 기기들은 REG 1.60 설계응답스펙트럼으로 발생한 구조물의 층응답스펙트럼을 바탕으로 내진 검증이 수행되어왔다. 따라서 원자력발전소 시스템, 구조 및 기기의 내진 성능은 국내 지진동 특성을 반영하여 재평가가 이루어져야 할 것으로 보인다. 국내 지진동 특성이 반영된 지진동을 사용하는 것이 합리적인 내진검증 혹은 성능 평가의 기본이라고 할 수 있다.

국내 지진동 특성을 반영하여 원자력발전소 시스템, 구조물 및 기기의 내진검증 및 내진성능을 평가를 수행하기 위해서는 먼저 확률론적 지진 재해도 분석으로부터 도출된 원자력발전소 부지의 등재해도 응답스펙트럼이 필요하다. 등재해도 응답스펙트럼으로부터 원자력발전소의 지진응답해석을 통해 층응답스펙트럼을 계산하여야한다. 지진응답해석으로부터 층응답스펙트럼을 도출하는 과정은 비용과 시간이 많이 소비된다. 다소 비용과 시간을 적게 소비하는 층응답스펙트럼을 생성하는 다른 방법으로는 랜덤 진동기법과 증폭계수를 활용하는 스케일링 방법이 있다 [10-12].

본 연구에서는 국내 지진동특성과 국내 원자력발전소의 지진응답에 대한 고주파수 영역에서 증폭계수에 대해 연구를 수행 하였다. 국내의 지진동 특성을 반영하기 위하여 국내 확률론적 지진 재해도 분석으로부터 도출된 등재해도 응답스펙트럼을 활용하였으며, 원자력발전소는 한국형 표준원자력발전소를 대상으로 하였다. 원자력발전소의 지진응답해석을 수행하여 얻은 층응답스펙트럼으로부터 최종적으로 고주파수 증폭계수를 산정하였다.

## 2. 원자력발전소의 내진해석

### 2.1 입력지진

국내지진 특성을 반영한 원자력발전소의 지진응답해석을 수행하기 위하여 울진지역의 평균 1E-4의 연간발생빈도를 갖는 등재해도 응답스펙트럼을 활용하였다. 등재해도 응답스펙트럼은 확률론적 지진 재해도 평가로

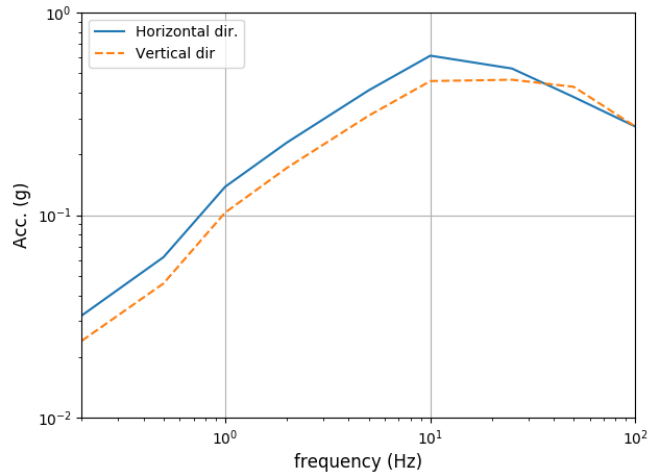
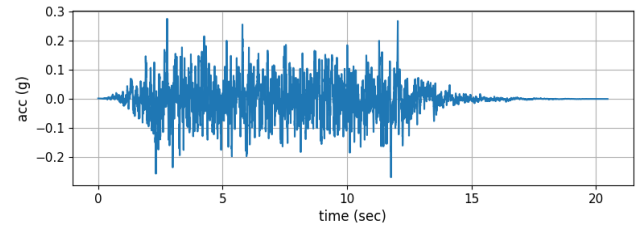
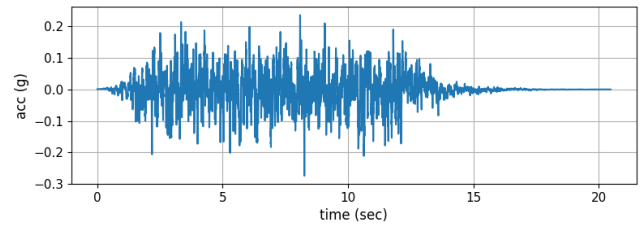


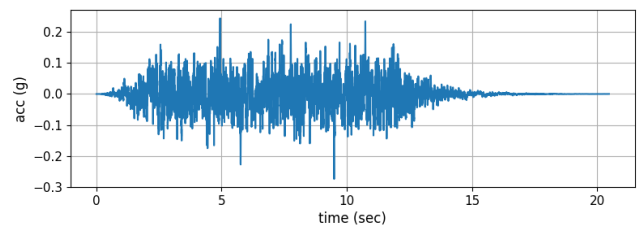
Fig. 1. Uniform hazard response spectrum (1E-4)



(a) X-direction



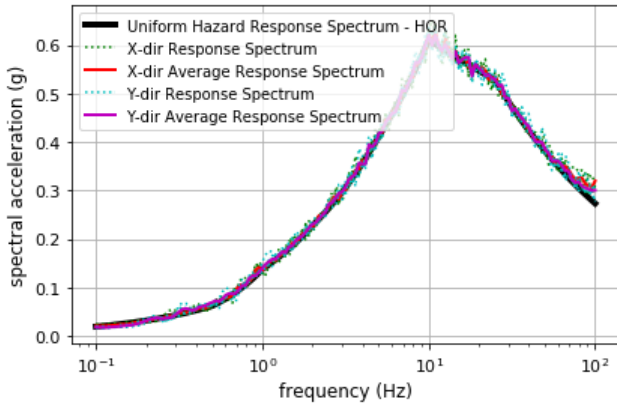
(b) Y-direction



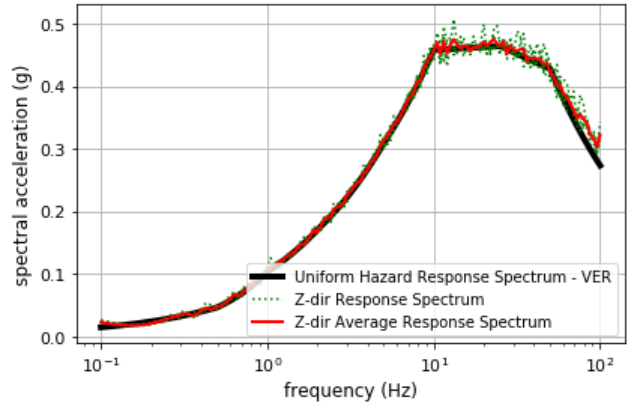
(c) Z-direction

Fig. 2. Input earthquake time history

부터 도출 되었으며, 국내에 원자력발전소의 확률론적 지진 재해도 평가에 사용된 11개의 지진지체모델 및 2000년 이후 개발된 감쇄식을 활용하였다 [2]. Fig. 1은 본 연구에서 활용한 수평 및 수직방향의 등재해도 응답스펙트럼을 나타내었다 [2], [13-15]. Fig. 1의 등재해도 응답스펙트럼을 만족하는 입력지진 세트를 P-CARES 프로그램을 활용하여 생성하였다 [16]. P-CARES는 랜덤신호를 생성하여 목표로 하는 응답스펙트럼에 부합하도록 입력지진신호를 생성한다. 생성한 입력지진 세트는 총 5세트이며 한 세트당 수평 2방향, 수직 1방향의 시간이력 지진입력신호를 생성하였으며 Fig. 2에 한 세트를 나타내었다. 각 시간이력 지진입력신호는 지속시

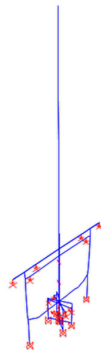


(a) Horizontal direction

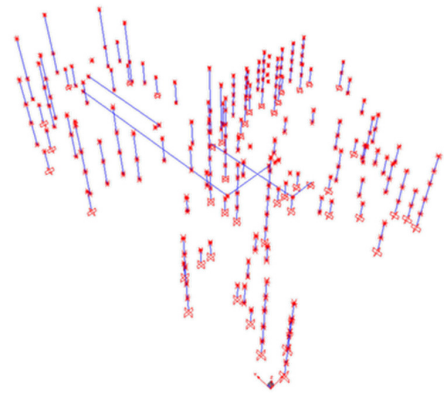


(b) Vertical direction

Fig. 3. Average response spectrum of generated acceleration time history



(a) Reactor containment building



(b) Auxiliary-turbine-access control building complex

Fig. 4. Finite element model of nuclear power plant [2]

간이 약 20초, 시간간격으로 0.005초이다. 생성한 5세트의 입력지진신호의 평균 응답스펙트럼과 등재해도 응답스펙트럼을 Fig. 3에 나타내었으며, 생성한 5세트의 입력지진신호가 등재해도 응답스펙트럼을 잘 만족하는 것을 알 수 있다.

## 2.2 원자력발전소의 내진해석

원자력발전소 모델은 국내에 가장 많이 건설된 한국형 표준원자력발전소인 Optimized Power Reactor 1000(OPR1000)을 대상으로 하였다. 원자력발전소를 구성하고 있는 건물 중에서 주요기기가 많이 설치된 원자로 건물, 보조건물집합체, 기기냉각수열교환기건물(CCW 건물), 필수용수취수건물(ESW 건물) 4개의 건물을 선정하였다. 원자로건물은 포스트-텐션 콘크리트의 원통형 벽체와 반구형 돔구조물이며, 보조건물집합체는 보조 건물, 터빈건물, 출입통제건물로 구성되어 있으며 철근콘크리트 슬라브 기초, 전단벽, 내부 격벽 및 슬라브로 구성되는 전단벽 구조물이다. CCW 건물과 ESW 건물은 철근콘크리트 구조물이다. 원자로건물, 보조건물집합체, CCW 건물, ESW 건물은 SAP2000 유한요소 프로그램으로 모델링 되었으며, 다음 Fig. 4와 같다. 모델링에서 활용한 재료특성과 감쇠비를 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

고주파수 증폭계수를 산정하기 위하여 생성한 입력지진 5세트를 기반

Table 1. Material properties of each building [17]

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

Table 2. Damping ratio [17]

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

으로 구성된 원자력발전소의 건물, 즉 원자로건물, 보조건물집합체, CCW 건물, ESW 건물에 대하여 내진해석을 수행하였다. 내진해석 결과를 활용

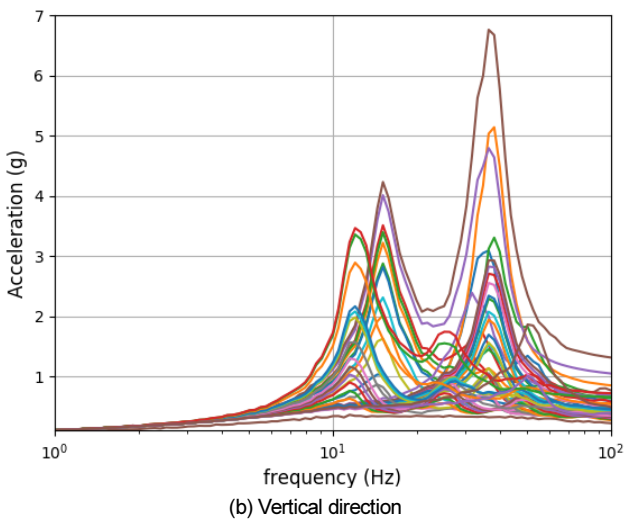
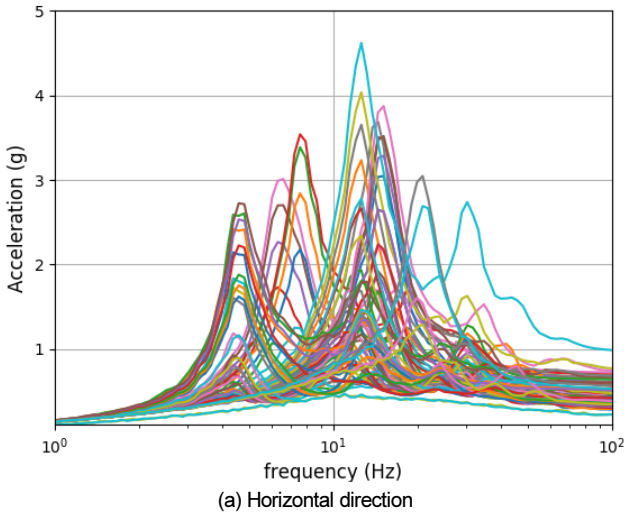


Fig. 5. Floor response spectrums of nuclear power plant structures

하여 각 건물의 주요기 위치를 고려하여 각 건물 및 각 층별 5% 감쇠비에 대하여 층응답스펙트럼을 작성하였다. 각 건물의 주요위치는 기초(0 ft)를 기준으로 원자로건물은 0 ft, 11 ft, 22 ft, 32 ft, 42 ft, 53 ft, 75 ft, 110 ft, 120 ft, 130 ft, 155 ft, 180 ft, 199 ft, 보조건물은 0 ft, 19 ft, 42.5 ft, 67 ft, 86 ft, 107 ft, 124 ft, CCW건물은 21.5 ft, 57.5 ft, ESW건물은 21 ft, 40 ft에 대해 층응답스펙트럼을 작성 하였다. 또한 도출하고자 하는 고주파수 증폭계수의 불확실성을 감소시키고자 입력지진 5세트에 의해 생성된 층응답스펙트럼의 평균을 구하였다. 국내의 지진동 특성을 반영한 등재해도 응답스펙트럼을 입력으로 하여 원자력발전소 원자로건물, 보조건물집합체, CCW건물, ESW건물에 대해 도출된 층응답스펙트럼을 모두 나타내면 다음 Fig. 5와 같다.

### 3. 고주파수 증폭계수

확률론적 지진 재해도 분석으로부터 얻은 등재해도 응답스펙트럼을 입력을 기반으로 4개 구조물의 주요위치에 대하여 고주파수 증폭계수가 개발되었다. Fig. 6은 원자력발전소의 설계응답스펙트럼과 등재해도 응답스펙트럼

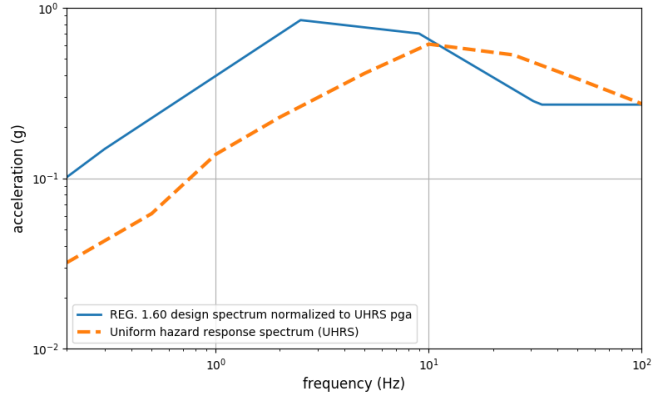


Fig. 6. REG 1.60 response spectrum & Uniform hazard response spectrum

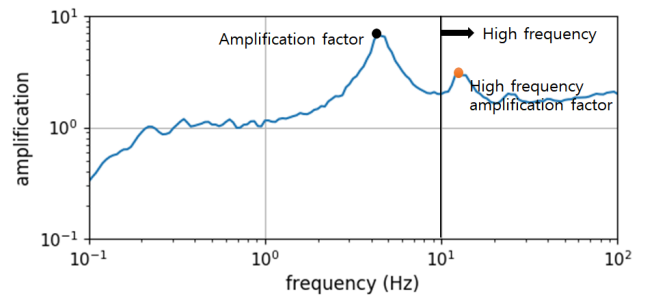


Fig. 7. Amplification factor and high-frequency amplification factor for reactor containment building at 199 ft from the foundation

트럼을 등재해도 응답스펙트럼의 최대지반가속도 기반으로 정규화 하여 비교하였다. Fig. 6에서 등재해도 응답스펙트럼이 원자력발전소의 설계응답스펙트럼보다 고주파수 성분이 많은 것을 알 수 있다. Fig. 6으로부터 확인할 수 있듯이, 10 Hz 이상의 주파수 영역부터 등재해도 응답스펙트럼의 가속도 값이 설계응답스펙트럼의 가속도 값을 초과하게 된다. 따라서 본 연구에서는 10 Hz 이상에 대해서 고주파수 증폭계수를 산정하였다. 증폭계수는 구조물의 층응답스펙트럼을 입력응답스펙트럼으로 나누어 가장 큰 값으로 하였다. 즉, 고주파수 증폭계수를 산정하기 위한 과정으로 분자와 분모는 다음과 같다.

- 분자: 고주파수 영향을 고려하기 위하여 10 Hz 이상 5% 감쇠비의 층응답스펙트럼 평균에 대해 분석 수행
- 분모: 고주파수 영향을 고려하기 위하여 10 Hz 이상 5% 감쇠비의 입력지진의 응답스펙트럼 평균에 대해 분석 수행

Fig. 7에 원자로건물 기초에서의 199 ft에서의 증폭계수와 고주파수 증폭계수를 나타내었다. 증폭계수는 Fig. 7에서 나타낸 바와 같이 모든 영역에서의 최댓값이며, 고주파수 증폭계수 증폭계수는 Fig. 7에서 나타낸 바와 같이 10 Hz 이상 영역에서의 최댓값이다.

원자력발전소 구조물의 높이에 따른 변화를 평가하기 위하여, Fig. 7과 Fig. 8의 수평 및 수직 데이터를 기초 위 높이의 함수로 표현하였다. 이 연구에서 얻은 증폭계수와 고주파수 증폭계수는 다음 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 8과 Fig. 9를 분석하면 원자력발전소의 구조물의 높이가 증가하

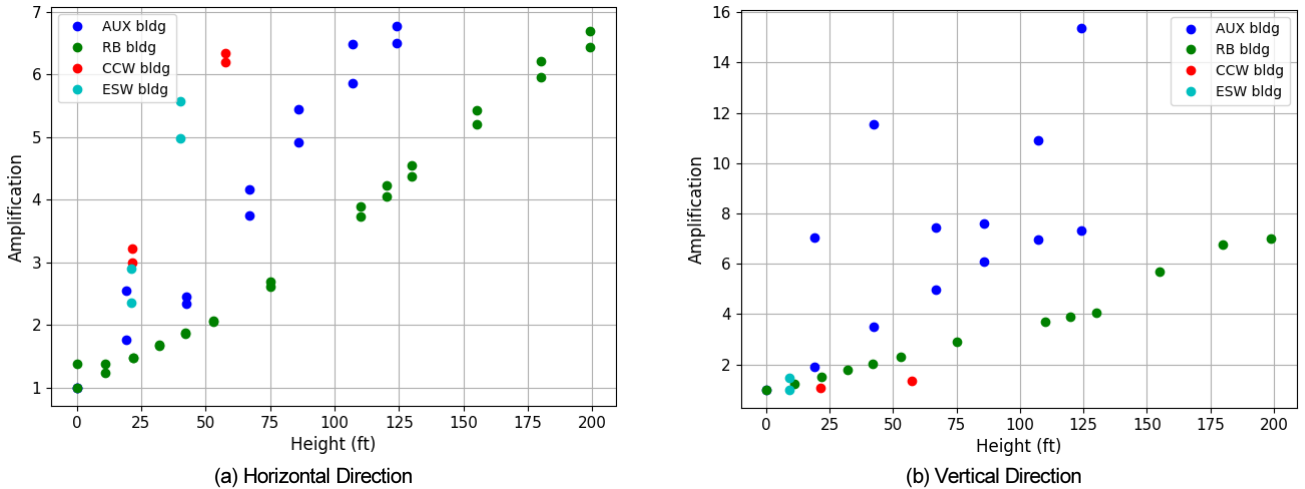


Fig. 8. Amplification factor

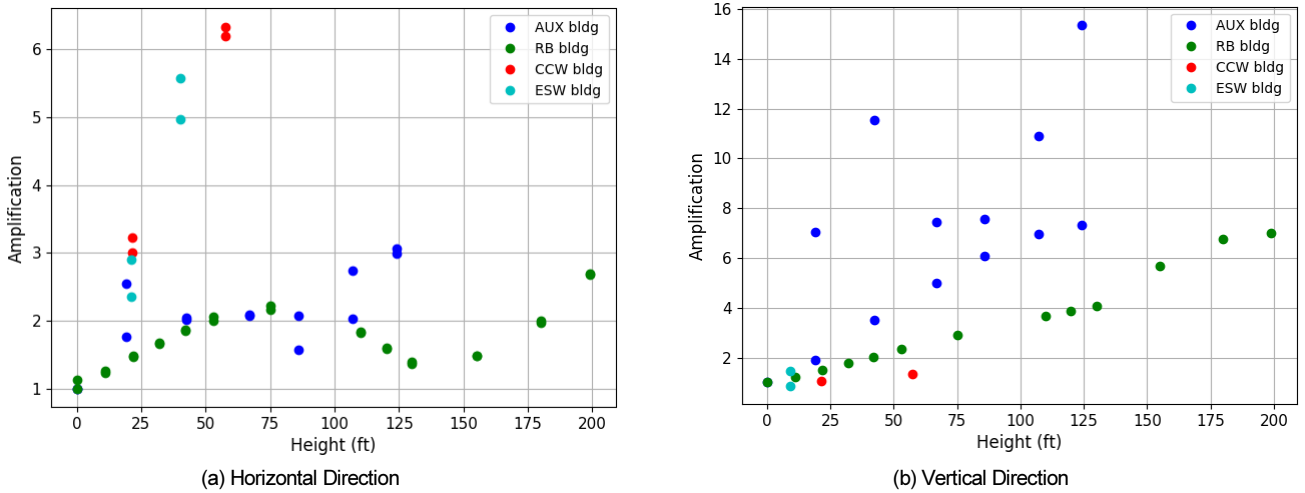


Fig. 9. High-frequency amplification factor

면서 증폭계수와 고주파수 증폭계수가 모두 증가하는 것을 확인 할 수 있으며, 증폭계수는 대부분 구조물의 첫 번째 고유주파수에서 발생함을 볼 수 있다. Fig. 8에서 수평 및 수직방향의 증폭계수는 높이가 증가함에 따라 증가한다. 수평방향 최대증폭계수는 대략 7정도이며 수직방향 최대증폭계수는 보조건물에서 발생하며 약 15이다. 높이에 따른 수평 방향의 증폭계수 변화는 원자로건물이 가장 낮으며 CCW 및 ESW 건물이 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 수직 방향의 증폭계수는 보조건물이 가장 큰 것을 확인할 수 있다.

고주파수 증폭계수의 결과를 살펴보면, 수평 방향 데이터의 전체적인 경향은 고주파수 증폭계수가 높이에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있다. 보조건물과 원자로건물의 경우 75 ft까지 증가하다가 약 75 ft 이상에서는 증/감이 비교적 많이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다. 이는 보조건물과 원자로건물의 고차모드에 의한 결과라 판단된다. 보조건물과 원자로건물의 최대 증폭계수는 약 3.1 정도이다. 하지만 CCW 건물과 ESW 건물은 높이가 증가할수록 증폭계수가 지속적으로 증가하는 것을 알 수 있으며, 최대 증폭계수는 약 6.2정도이다. 수직 방향의 전체적인 경향은 고주파수 증폭계수는 수평방향의 결과와 마찬가지로 높이에 따라 증가하는 것을 확인할 수

있다. 또한 원자력발전소의 건물의 구분 없이 높이에 따라 증폭계수가 지속적으로 커지는 것을 알 수 있다. 상대적으로, 보조건물의 증폭계수가 타 건물의 증폭계수에 비하여 높이에 따라 증가량이 큰 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 보조건물의 최대 증폭 계수는 약 15.4이다. 원자로건물의 최대 증폭계수는 약 5이다. 수평 방향으로 고주파수 증폭계수가 가장 높은 구조물은 CCW 건물이며, 수직방향으로 고주파수 증폭계수가 가장 높은 구조물은 보조건물이다. 또한 수직방향의 증폭계수와 고주파수 증폭계수를 비교할 경우, 그 차이가 없는 것을 확인 하였다. 수평방향의 경우 보조건물과 원자로건물의 증폭계수와 고주파수 증폭계수가 차이를 보이는 반면 CCW 건물과 ESW 건물의 경우 차이가 없는 것을 확인 하였다.

국내 지진동 특성을 반영한 등재해도 응답스펙트럼을 활용하였으며 주요기기가 설치된 원자력발전소 주요건물 4개에 대하여 분석을 수행하였다. Fig. 9에서 정의된 수평 및 수직 고주파수 증폭계수는 OPR1000 원자력발전소의 주요기기가 설치된 대부분의 위치에서 활용이 가능 할 것으로 보인다. 특히, 고주파수에 민감한 계전기는 선정된 건물 대부분에 위치하고 있으며, 선정된 건물에는 원자력발전소의 안전성과 관련된 중요한 계전기가 설치되어 있다.

## 4. 결론

원자력발전소 시스템, 구조물 및 기기의 내진검증 및 내진성능을 평가하기 위해서는 국내지진동의 특성을 반영하여 평가를 수행하여야 한다. 국내 많은 원자력발전소가 REG 1.60 설계응답스펙트럼을 바탕으로 설계가 되어 있으며, REG 1.60 설계응답스펙트럼은 국내지진동 특성을 충분히 반영하지 못한다. 2016년 경주지진과 2017년 포항지진동 특성은 고주파수 지진동 특성을 가지고 있는 것으로 분석이 되었다. 국내 지진동 특성이 반영된 지진동을 사용하는 것이 합리적인 내진검증 혹은 성능 평가의 기본이라고 할 수 있다. 국내 지진동 특성을 반영하여 안전성평가를 수행하기 위해서는 원자력발전소의 층응답스펙트럼을 필요로 하게 되며 고주파수 증폭계수는 고주파수 영역의 층응답스펙트럼을 추정 가능케 한다.

본 연구에서는 스케일링 방법으로 고주파수 영역에 대한 층응답스펙트럼을 작성하기 위해 필요한 고주파수 증폭계수를 도출하였다. 국내 지진동 특성을 반영하기 위하여 확률론적 지진 재해도 분석에서 도출된 등재해도 응답스펙트럼을 입력을 활용하였으며, OPR1000 원자력발전소의 주요건물인 원자로건물, 보조건물집합체, CCW건물 및 ESW건물의 모델을 구성하여 지진응답해석을 수행하였다. 지진응답해석 결과를 바탕으로 원자력발전소의 주요기기가 있는 위치에 대하여 층응답스펙트럼을 작성하여 높이에 따른 고주파수 증폭계수를 분석하였다. 그 결과, 건물 높이에 따라 수평 및 수직방향의 증폭계수가 커지는 것을 확인 하였다. 고주파수 증폭계수의 경우 수평방향의 경우 원자로건물과 보조건물은 높이에 따라 75 ft까지 증가하다가 유지 되는 것을 확인 하였으며 그 최댓값이 3 정도이다. 수직방향은 모든 건물이 높이에 따라 지속적으로 고주파수 증폭계수가 커지는 것을 확인 할 수 있었다.

고주파수 증폭계수는 스케일링 방법을 활용하여 층응답스펙트럼을 작성할 경우 활용이 가능하다. 또한 원자력발전소 시스템, 구조물 및 기기의 내진검증 및 내진성능평가 시 고주파수 영역에서의 보수적으로 최대증폭비를 쉽게 추정할 수 있다. 특히 고주파수에 민감한 전기기기의 내진검증 및 내진성능 평가 수행 시 유용하게 활용이 가능하다.

### / 감사의 글 /

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원과 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. 2020R1G1A1007570 & No. 20201510100010).

### / REFERENCES /

1. Korea Meteorological Administration, Earthquake Notification - 2016. 9. 12. 20:37. Official notice, c2016.
2. Eem SH, Choi IK, Shape of the Response Spectrum for Evaluation of

- the Ultimate Seismic Capacity of Structures and Equipment Including High-frequency Earthquake Characteristics, Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, 2019 Jan;24(1):1-8.
3. Korea Meteorological Administration, Earthquake Notification - 2017. 11. 15. Official notice, c2017.
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. Electric Power Research Institute, High Frequency Program, Application Guidance for Functional Confirmation and Fragility Evaluation, EPRI 3002004396, Palo Alto, CA, c2015.
7. Electric Power Research Institute, Industry Approach to Severe Accident Policy Implementation, NP-7498, Palo Alto, CA, c1991.
8. Electric Power Research Institute, Program on Technology Innovation: The Effects of HighFrequency Ground Motion on Structures, Components, and Equipment in Nuclear Power Plants, EPRI 1015108, Palo Alto, CA, June Functionality, NP 7148, Palo Alto, CA, c2007.
9. US Nuclear Regulatory Commission, Regulatory Guide 1.60: Design Response Spectra for Seismic Design of Nuclear Power Plants, US NRC, Washington, D.C., United States, c2014.
10. Singh MP, Sharma AM, Seismic Floor Spectra by Mode Acceleration Approach, Journal of Engineering Mechanics, 1985;111(11):1402-1419.
11. Singh MP, Generation of Seismic Floor Spectra, Journal of Engineering Mechanics, 1975;101(5):593-607.
12. Reed JW, Kennedy RP, Methodology for Developing Seismic Fragilities EPRI TR-103959, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, c1994.
13. Seo JM, Choi IK, Rhee HM, Kim MK, Probabilistic Seismic Hazard Analysis Procedure and Application for Nuclear Power Plant Sites, KAERI/TR-4633, c2012.
14. 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.
15. Lee JM, A Study on the Characteristics of Strong Ground Motions in Southern Korea, KINS/HR-422, c2002.
16. US Nuclear Regulatory Commission, P-CARES: Probabilistic Computer Analysis for Rapid Evaluation, NUREG/CR-6922, c2007, 158p.
17. Jacekorea, Seismic Fragility and Analysis of Hanul Nuclear Power Plant, Report, Korea, c2015.