

# 중량부품 지지대 보강에 의한 원자력 발전소 배터리 차저의 내진한계상태 비교

## Fragility Comparison of Battery Chargers for Nuclear Power Plants depending on Reinforcement of Supporting for Massive Components

정영수\* · 장성진\* · 김성완\* · 박준희\*\* · 박동욱†

Young-Soo Jeong\*, Sung-Jin Chang\*, Sung-Wan Kim\*, Jun-Hee Park\*\* and Dong-Uk Park†

(Received December 30, 2022 ; Revised March 2, 2023 ; Accepted March 15, 2023)

**Key Words :** Battery Charger(배터리 차저), Electronic Cabinet(전기 캐비닛), Seismic Amplification(지진 증폭), High Frequency Motion(고주기진동), Shaking Table Test(진동대 실험)

### ABSTRACT

In South Korea, nuclear power plant equipments are designed and qualified according to the Nuclear Regulatory Commission (NRC) Regulatory Guide 1.60 (R.G. 1.60). However, the uniform hazard spectrum (UHS) at the nuclear site in Uljin area exhibits a higher response acceleration in the high frequency range in comparison with R.G. 1.60. In this study, a seismic limit state test considering different response spectra types was executed for battery chargers with and without reinforcement, which is a similar model to that using N.P.P. Battery charger using N.P.P. includes a massive transformer, which is normally fixed to the enclosure with brackets. Brackets should be under high seismic loads because of the transformer mass. Failure modes of the battery charger considered in this study were observed as the structural failure mode in transformer supports (bracket) and functional failure mode in major relay chattering. It seems that the reinforcement for structural failure mode can improve not only structural limit state but also reduce the chattering phenomenon under seismic conditions.

### 1. 서론

2016년 경주지역에서 발생한 지진은 진도가 작은 기존의 국내 지진 특성이 미국 서부지역에서 발생하는 지진 특성과 상이하다는 기존의 연구결과<sup>(1)</sup> 이외에 진도가 큰 경우에도 적용된다는 것을 확인시켜주

는 계기가 되었다. 미국의 경우 1980년대부터 지역별 응답스펙트럼의 특성이 상이한 것에 대한 반영으로 원자력 발전소의 지진하중은 등재해도 스펙트럼을 이용하였으나, 우리나라의 경우 아직까지 설계에는 미국 서부지진을 근간으로 하는 Regulatory guide 1.60에 기반한 지반응답스펙트럼을 사용하고 있는 실정이다<sup>(2)</sup>. 원자력 기기의 내진검증실험은 설계를 기반으

† Corresponding Author ; Member, Seismic Research and Test Center, Pusan National University, Professor  
E-mail : kwenry@pusan.ac.kr

\* Member, Seismic Research and Test Center, Pusan National University, Researcher

\*\* Mechanical and Structural Safety research Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Researcher

‡ Recommended by Editor Seung Hyun Jeong  
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

로 이루어지므로 R.G. 1.60을 기초로 발주처에서 제공하는 응답스펙트럼을 사용하는 것이 보통이나, 해당기기의 내진한계상태를 평가함에 있어서 기기가 설치되는 지역의 지진특성을 반영하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이에 이 연구에서는 설계에 사용되는 응답스펙트럼의 특성과 원자력발전소 부지의 지진특성을 반영하는 응답스펙트럼을 모두 고려하기 위하여 NRC 표준지진 설계응답스펙트럼(R.G 1.60), 울진 지역의 등재해도 스펙트럼(UHS)<sup>(3,4)</sup>을 함께 고려한 통합응답스펙트럼(combined response spectrum, CRS)을 이용하여 진동대를 활용한 내진한계상태실험을 수행하였다.

원자력 전기기기는 일반적으로 수치해석과 진동대 실험을 통하여 캐비닛의 내진한계상태를 평가하고 있다. 고주파 지진환경에서 안전관련 전기 캐비닛의 내진성을 실험적으로 평가하고 있으며<sup>(5,6)</sup>, 캐비닛 유형에 따른 내진실험을 통하여 저주파 및 고주파 환경에서 캐비닛의 동특성을 평가하였다<sup>(7-10)</sup>. 하지만 원전에 설치되는 캐비닛의 크기와 모양이 다양하기 때문에 모든 전기 캐비닛의 동특성을 평가하기는 어렵다.

원자력 발전소 전기 캐비닛의 내진 보강을 적용하기 위해 스트럿 볼트 또는 외부 앵글 브라켓에 의한 내진 억제 장치, 면진 시스템 및 진동 제어 장치가 설치되고 있다<sup>(11-14)</sup>. 구조물의 내진성을 보장하기 위한 광범위한 연구와 기술개발이 이루어지고 있다. 하지만, 전기기기 캐비닛의 내진보강에 대한 실험적 연구는 상대적으로 미흡한 실정이다.

또한 캐비닛 형태의 원자력기기에 대한 진동대 실험이 이루어졌으나, 대부분 내부응답스펙트럼(in-cabinet response spectrum, ICRS)<sup>(15,16)</sup>의 분석에 제한적으로 이루어졌으며, 기기의 구조적/기능적 한계상태를 직접 확인하기 위한 진동대 실험은 제한적으로 수행되었다. 그러나 중량부품 지지대 보강에 의한 캐비닛 외함파 내부 주요부품의 고유진동수 변화에 대한 연구 사례는 전무하다.

이 연구에 적용된 원자력 기기는 배터리 차저(battery charger, B/C)로 설치되어 발전소 배터리에 충전전류 공급을 담당하는 장치이며, 표준 원전 기기 신뢰도 분석자료<sup>(17)</sup>에서는 해당기기의 기능상실 또는 기능저하로 인한 고장모드가 확인되었다. 배터리 차저는 일반적으로 캐비닛 형태로 제작되어 원자력 발전소 보조건물에 배치되는 경우가 많으며, 배터리 충

전용 전류 공급을 위하여 AC/DC 컨버터 및 변압기가 주요 부품으로 설치되어 있다. 이러한 배터리 차저의 질량분포는 주요 부품인 변압기가 해당기기 전체 질량의 1/4~1/3을 차지하는 형태의 특성을 가진다. 일반적으로 많은 질량분포를 차지하는 변압기 부품은 내진안전성 향상을 위하여 기기의 하단에 배치되며, 변압기의 지지를 위하여 브라켓으로 기기의 프레임에 직접 연결된다. 이 연구에서는 캐비닛의 구조적 및 기능적 파괴가 발생하는 시점을 한계상태로 정의하였으며, 보강/비보강 배터리 차저를 이용한 실험 결과를 바탕으로 각각의 한계상태실험을 실시하고, 그 결과를 비교하였다.

## 2. 통합응답스펙트럼 개발

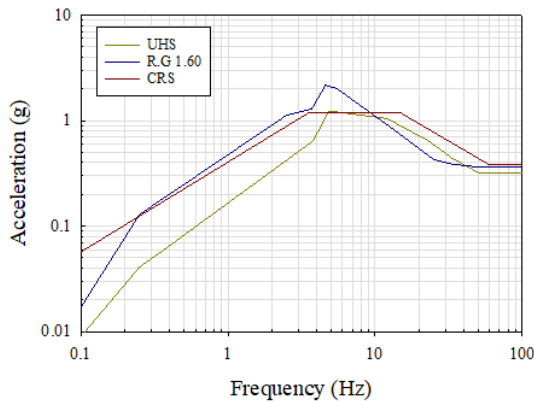
진동대를 이용한 원자력 발전소 기기 내진성능검증에 사용되는 입력운동은 NRC 표준지진 설계응답스펙트럼을 이용하여 기기가 설치되는 건물의 층응답스펙트럼(floor response spectrum, FRS)이 적용된다. 하지만, 지반응답스펙트럼이 달라지는 경우 구조물의 진동수에 따라 층응답스펙트럼의 형상이 달라질 개연성이 높으므로 원자력 발전소 부지에서 실제 발생하는 지진이 표준응답스펙트럼과 상이한 특성을 가진다면, 내진안전성 평가 결과가 달라질 수 있다. 2007년에 발행된 미국의 Electric Power Research Institute (EPRI)의 보고서에서는 원자력 발전소 구조물 내부에 설치된 기기의 일부가 10 Hz 이상의 고주파 지진동에 의해 손상모드가 발생하는 것이 보고되었으며<sup>(18)</sup>, 국내 원자력발전소 부지의 지진특성은 NRC 표준지진 설계응답스펙트럼에 비하여 고주파수가 높은 특성을 가지고 있다. 따라서, 대상기기의 내진안전성 평가 및 한계상태평가에 있어서 원자력발전소 부지의 지진특성을 반영한 평가가 이루어져야 하며, 이러한 경우에도 설계응답스펙트럼을 무시할 수 없으므로 두 응답스펙트럼의 특성을 모두 반영할 수 있는 응답스펙트럼의 개발이 필요하다.

이 연구에서는 시험대상 시료와 유사한 배터리 차저가 설치되어 있는 원자력발전소 부지 지역인 울진 지역의 등재해도 스펙트럼과 표준지진 설계응답스펙트럼에 대하여 시간이력 해석결과를 활용한 층응답스펙트럼을 각각 산출하고, 두 층응답스펙트럼의 주파수 특성을 함께 반영할 수 있는 입력지진 통합응답스

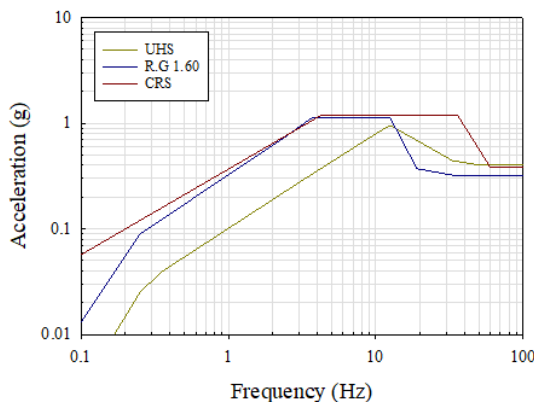
펙트럼을 개발하였다. 개발된 통합응답스펙트럼을 활용하여 안전지진 레벨의 최대지반가속도 (peak ground acceleration, PGA, 0.2 g)를 기준으로 실험에 적용되는 가속도비에 따라 주파수 전구간에 대해 적용한 응답스펙트럼을 입력지진과 작성에 사용하였다. 각 시험별 최대지반가속도 비는 Table 1에 나타냈으며, 최대지반가속도 비가 적용된 응답스펙트럼은 Fig. 1에 나타내었다.

**Table 1** Response acceleration level and ratio based on PGA 0.2 g

Input motion	ZPA [g]	Ratio to PGA [g/g]
UHS	0.293	1.465
R.G 1.60	0.330	1.650
CRS	0.380	1.900



(a) Side to side, front to back direction



(b) Vertical direction

**Fig. 1** Seismic response depending on input motion

### 3. 내진한계상태 실험

#### 3.1 배터리 차저의 제원

배터리 차저는 AC를 DC로 변환하는 변환기 기능을 수행하며 480 V 교류를 125 V 직류로 변환하여 발전소 직류부하에 전원을 공급하거나 배터리를 충전하는데 적용된다. 시험에 적용된 배터리 차저는 국내 원자력발전소에 납품실적이 있는 제작사에서 동일한 성능의 제품을 제작하여 적용하였으며, 그 제원 및 외형은 Table 2 및 Fig. 2와 같다.

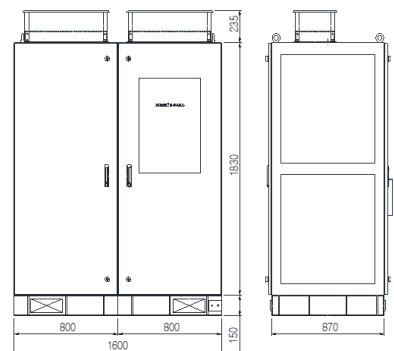
#### 3.2 내진한계상태 실험방법

배터리 차저의 내/외부의 구조적 응답의 확인을 위하여 캐비닛 외함의 특정위치들과 내부의 주요부품 위치에서의 가속도 응답을 확인하기 위하여 Fig. 3과 같이 가속도계를 설치하였다. 계측된 주요부품은 변압기용 코일, 차단기, 계전기 및 퓨즈가 설치된 위치이며, 가속도계의 설치로 인하여 기능특성의 변화 가능성이 있는 상대적으로 질량이 작은 차단기, 계전기, 퓨즈의 위치에서는 해당 부품들이 설치된 판넬에 가속도계를 설치하였으며, 변압기용 코일은 해당코일 상부에 가속도계를 설치하였다.

배터리 차저의 한계상태 실험의 수행 전에 해당기

**Table 2** Dimension and shape of battery charger

Battery Charger	Dimensions [mm]			Weight [kN]
	Width	Length	Height	
125V 600A	870	1600	1830	150
Jig	870	1600	150	20



**Fig. 2** Dimension and shape of tested B/C

기에 탄성거동 구간에 대하여 다수의 인공지진파 실험을 진행하였으며, 한계상태 실험은 HCLPF (high confidence of low probability of failure)에 해당하는 레벨부터 시작하여 파괴확률이 10%, 20%, 30%에 해당하는 레벨 순으로 가진하였다.

원자력기기의 한계상태 실험방법은 IEEE 344-2018에 따라 SSE(safety shutdown earthquake)레벨의 20%씩 점차적 증가하는 방법이 일반적으로 많이 적용되나, 이러한 방식은 기기의 응답이 소성영역에 도달하게 되는 SSE 레벨 이상에서는 손상이 누적될 수 있으며, 상대적으로 좁은 간격으로 수행되는 IEEE 344에 근거한 시험방법은 이러한 누적 손상량의 증가로 기기의 내진한계성능이 과소평가될 우려가 있다.

따라서, 이 연구에서는 파괴확률을 기반으로 입력 지진파의 증가를 확인하는 방법을 선택하였으며, 그 시작점은 고신뢰도지파손 확률 지점은 HCLPF를 선정하였으며, 각 지진파의 증가 간격은 파괴확률을 기준으로 임의로 10%를 선정하였다.

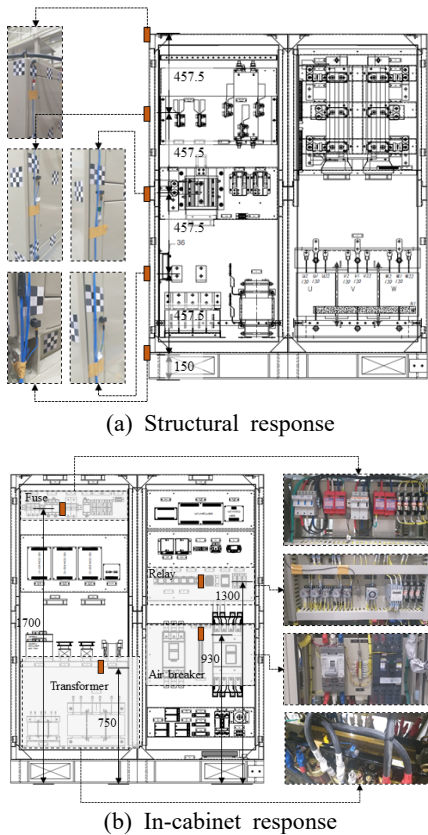


Fig. 3 Location of installed accelerometers

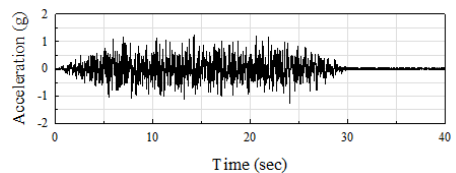
입력지진파는 Fig. 1에 나타난 응답스펙트럼을 만족하면서, 감쇠비가 5%인 인공지진파를 적용하였다. 입력지진파의 특성은 Table 3과 같으며, HCLPF 레벨에서의 입력지진파는 Fig. 4와 같다.

HCLPF 이상의 지진파는 배터리 차저의 구조적 이상을 발생시킬 수 있는 정도의 지진이므로, 구조적 건전성을 확인하기 위하여, 각 단계별 지진파 입력 전에 공진주파수 탐색시험을 실시하였다. 공진주파수 탐색시험은 랜덤파(random wave)를 적용하되, 배터리 차저에 손상을 발생시키지 않을 정도의 수준(root mean square, RMS 0.1 g)으로 진동대를 가진하였다. 랜덤파에 적용되는 주파수 범위는 0.5 Hz ~ 50.0 Hz 이고, 저주파 구간의 충분한 가진을 위하여 60초 이상 가진하였다.

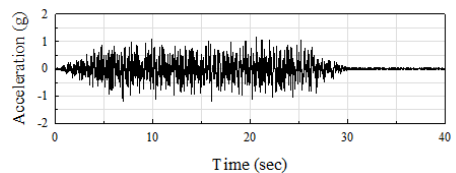
공진 주파수 결정은 진동대 바닥에 부착된 가속도계와 배터리 차저에 부착된 가속도계를 이용하여 입

Table 3 Characteristic of input motion

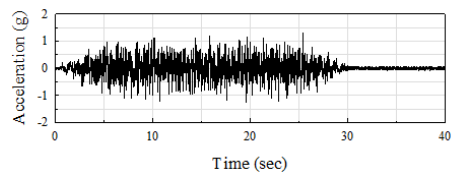
Total duration	Strong motion duration	Increase and decrease interval	Frequency range	Damping ratio
30 s	20 s	(each) 5 s	1 Hz ~ 50 Hz	5 %



(a) Side to side



(b) Front to back



(c) Vertical

Fig. 4 Acceleration time history in HCLPF level

력가속도에 대한 응답가속도의 전달함수를 이용하여 peak pick 방식으로 도출하였다. 전달함수는 식 (1)에 의해 산정하였으며, 전달함수의 주파수 간격은 0.25 Hz 간격으로 분석하였다. 주파수 간격을 고려하였을 때, 신호 분석에 적용되는 window의 크기는 4초가 되므로, 다수의 window 적용으로 인한 왜곡을 방지하기 위하여 window의 형태는 symmetric hamming window를 적용하였다.

$$T_{xy}(f) = \frac{P_{yx}(f)}{P_{xx}(f)} \tag{1}$$

여기서,  $P_{yx}$ 는 입력가속도와 응답가속도의 상호상관 밀도(cross power spectral density) 이고,  $P_{xx}$ 는 입력가속도의 자기상관밀도(auto power spectral density)이다.

### 4. 실험결과

#### 4.1 공진 주파수 실험결과

배터리 차저는 지진하중에 의한 구조적 손상의 확인을 위하여 공진주파수의 변화를 추적하였다. 각 단계 시험 전/후의 공진탐색결과는 Table 4와 같다.

보강은 주로 변압기의 기초부에 한정적으로 이루어졌으므로, 보강 전/후의 고유진동수는 변압기 이외의 부분에서는 변화량이 미미한 것을 확인할 수 있었으며, Fig. 5에 나타난 보강 전/후에 따른 내진시험 전 공진탐색시험의 전달함수의 비교 그래프는 배터리 차

저의 보강이 변압기에 제한적으로 이루어졌음을 보다 확연히 나타내고 있다.

또한, HCLPF 이상의 지진과 가진 전/후의 고유진동수 변화와 SSE 레벨의 실험 전/후 고유진동수 변화를 비교하였을 때, SSE 레벨 이하에서는 구조적 손상이 상대적으로 미미함을 확인할 수 있다.

#### 4.2 내진실험 중 최대응답 가속도

Fig. 6은 보강 전/후의 배터리 차저에서 각 입력하중에 따른 가속도 응답을 비교한 그래프이다. 캐비닛 외부의 응답 중 보강 전 750 mm 높이에서 설계응답 스펙트럼에 대한 응답이 보강 후 동일한 가진에 대한 응답에 비하여 상대적으로 큰 것을 확인할 수 있으며, 이는 저주파수 성분이 주를 이루는 지진파에 대하여 보강 전 시료의 변압기 인근 응답이 상대적으로 크다는 것을 의미한다. 또한 이러한 내용은 Fig. 7에서 나타난 바와 같이 보강 전/후 변압기에서의 응답가속도 결과에서 명확히 확인할 수 있다.

#### 4.3 내진실험 중 기능 파괴 한계

Fig. 8은 내진시험 중 기능파괴가 발생한 주요 실험 (fragility 10%)에 대하여 입력지진파의 시간이력에 대하여 주요 계전기에서의 전압변화를 나타낸 것이다. 전체시간을 나타내기 위한 그림에서 각 채터링(chattering)이 발생한 위치를 상세히 나타내지는 못하였으나, 대부분의 전압하락 위치에서 원전기기의 전기 채터링을 의미하는 2 ms 이상의 단락이 확인되

**Table 4** Summary of resonant frequency depending on before and after retrofit

Input motion	Direction	Before retrofit			After retrofit		
		Top of cabinet	Transformer	Relay	Top of cabinet	Transformer	Relay
Before seismic test	X	12.50	33.25	12.50	11.25	43.75	11.25
	Y	29.25	15.25	20.25	28.75	19.75	28.75
	Z	N/A	53.00	N/A	N/A	55.50	N/A
After seismic test at SSE level	X	12.50	33.25	12.50	11.25	43.25	11.25
	Y	29.50	15.50	20.25	28.75	19.0	28.75
	Z	N/A	51.00	N/A	N/A	54.0	N/A
After seismic test at HCLPF level	X	12.50	29.50	12.25	11.0	42.75	11.0
	Y	29.75	13.75	20.25	28.75	18.75	28.75
	Z	N/A	46.75	N/A	N/A	53.75	N/A
After seismic test at fragility 10 %	X	12.25	24.25	11.25	11.0	40.75	11.0
	Y	29.00	12.50	19.75	28.75	18.75	28.75
	Z	N/A	33.25	N/A	N/A	52.0	N/A

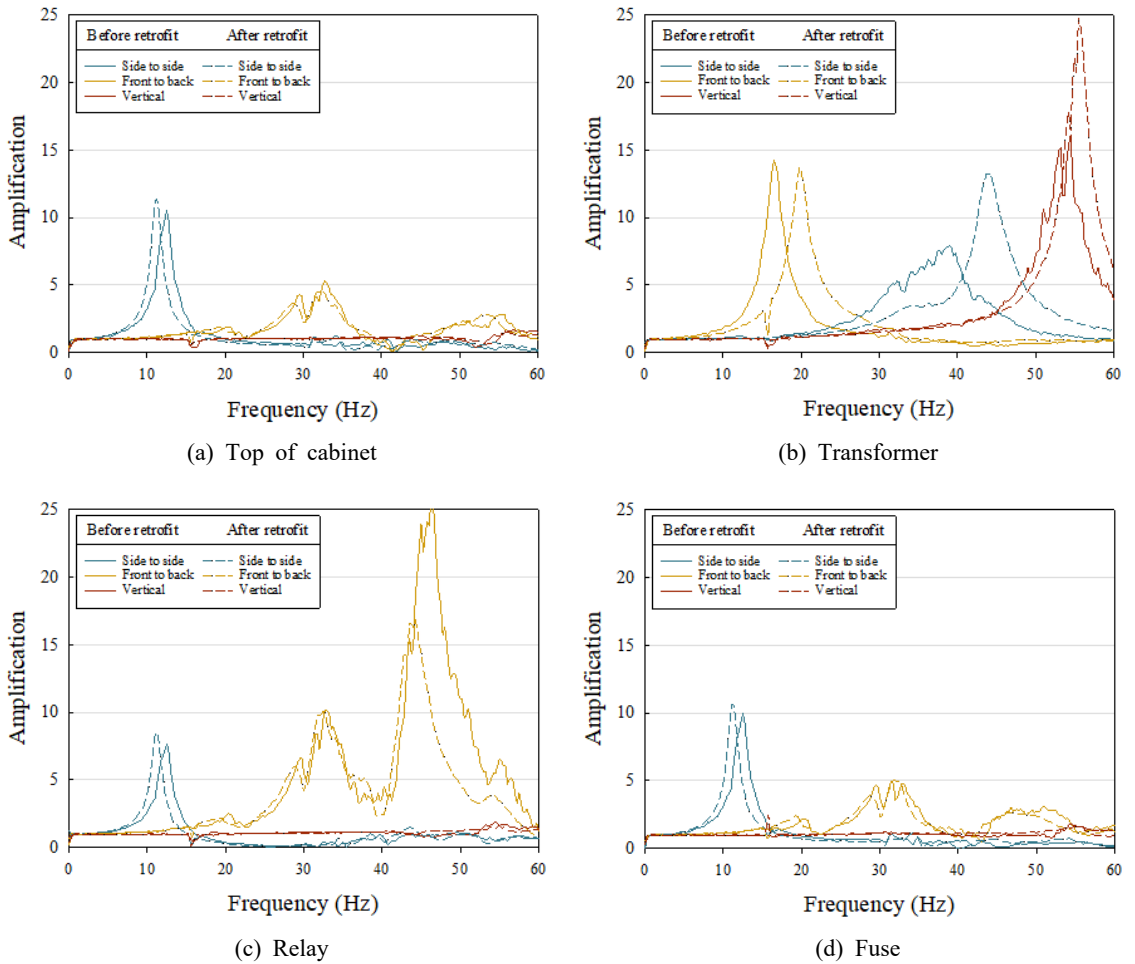


Fig. 5 Comparison of resonant frequency depending on before and after retrofit

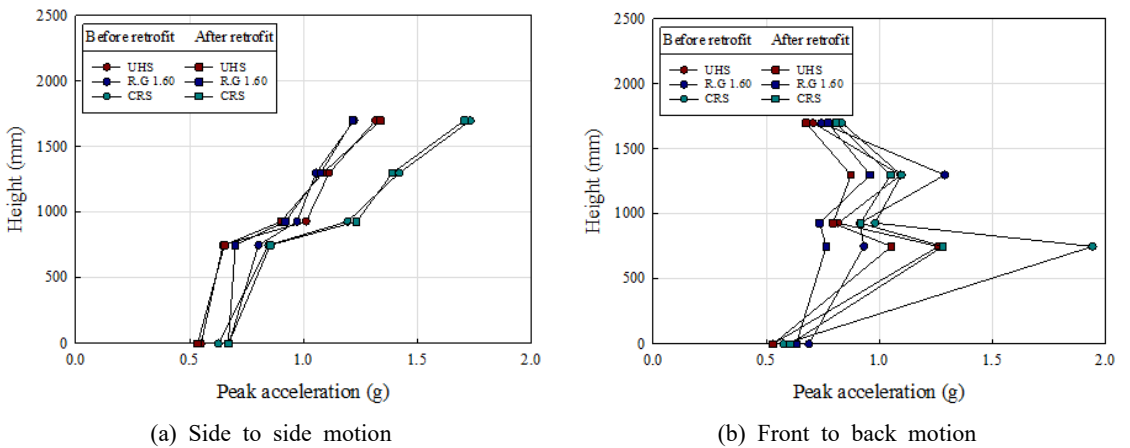


Fig. 6 Comparison of in-cabinet peak accelerations depending on input motion

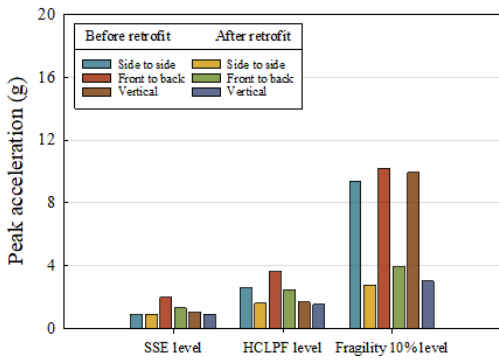


Fig. 7 Comparison of peak accelerations at transformer by retrofit

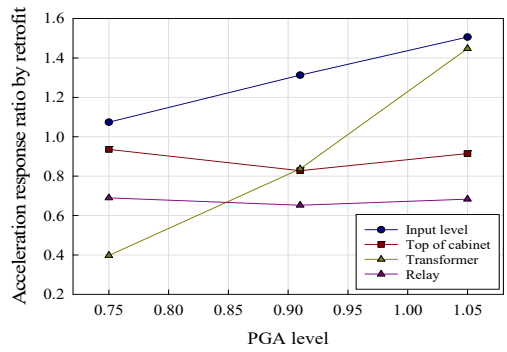


Fig. 10 Acceleration response ratio of retrofit based on fragility 10%

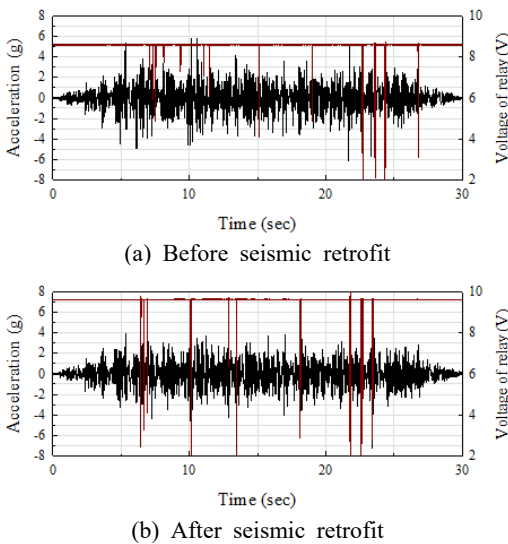


Fig. 8 Comparison of relay chatter and input acceleration motion

었으며, Fig. 9는 보강 전/후 fragility 10%의 동일한 입력진동에 대하여 발생한 채터링을 채터링의 지속 시간에 대한 횡수를 나타낸 그래프이다. 보강 전에 비하여 보강 후의 채터링 발생횟수가 명확히 적었음을 확인할 수 있다.

Fig. 10은 이 연구에서 보강의 주요 위치 대상인 변압기에서 계측된 가속도 응답에 대하여 fragility 10% 비보강 가속도 응답을 기준으로 보강에 따른 가속도 응답 변화를 나타내었다. 캐비닛의 구조적인 보강을 실시하지 않더라도 구조적 내진성능 향상 및 캐비닛 내부의 가속도 응답이 감소하였다.

### 5. 결 론

이 연구에서는 원자력 기기 중 125 V 배터리 차저를 대상으로 주요 부분 보강에 따른 내진성능의 개선을 파악하고자 하였으며, 내진보강은 주요 파괴 부위인 배터리 차저 내 변압기의 기초부위만을 보강하여 동일한 입력진동에 대한 내진보강 전/후의 구조적 응답 및 기능의 유지에 대하여 확인하였다.

이 연구에 적용된 시료에 한하여 SSE 레벨의 입력진동에 대하여 시료에 심각한 손상을 주지는 않았으나, HCLPF 레벨 이상의 입력진동에 대해서는 시료의 소성변형이 발생하게 되며, 정확한 내진한계상태를 파악하는 것에 영향을 줄 수 있다. 따라서 제한된 시료를 이용하여 실험적으로 캐비닛 기기의 한계상태를 파악하기 위해서는 HCLPF 레벨 이상의 입력진동의 단계를 축소하여 평가하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

배터리 차저와 같이 주요질량이 기기의 일부에 취

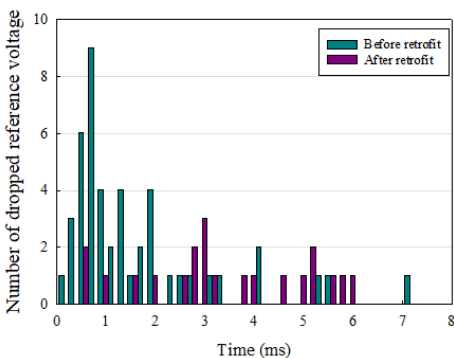


Fig. 9 Comparison of contact chatter by seismic retrofit

중된 경우 해당 질량의 기초부 혹은 연결부위의 강성 증가를 통하여 별도의 외함에 대한 보강을 수행하지 않더라도 구조적 내진성능을 기대할 수 있으며, 뿐만 아니라 기능적 개선도 기대할 수 있다.

하지만 전기기기의 기능적 파괴모드의 경우에는 보강에 따른 2 ms 이상의 채터링 발생 확률이 감소하여도, 전기기기의 기능 파괴가 발생하는 입력하중의 ZPA 레벨이 높아질 것을 기대하는 것은 어려울 수 있다.

## 후 기

이 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제(설계초과 강진 대비 열화기기 지진안전성 향상 및 내진보강기술개발, No. 20224B10200080)입니다.

## References

- (1) Choi, I.-K., Seo, J.-M. and Choun, Y.-S., 2003, Evaluation of High Frequency Ground Motion Effects on the Seismic Capacity of NPP Equipments, Technical Report KAERI/TR-2484.
- (2) U.S. Atomic Energy Commission, 1973, Design Response Spectra for Seismic Design of Nuclear Power Plants, NRC Regulatory Guide 1.60.
- (3) Seo, J. M., Choi, I. K., Rhee, H. M. and Kim, M. K., 2012, Probabilistic Seismic Hazard Analysis Procedure and Application for Nuclear Power Plant Sites, Technical Report KAERI/TR-4633.
- (4) Rhee, H.-M., Kim, M. K., Sheen, D.-H. and Chol, I.-K., 2013, Analysis of Uniform Hazard Spectra for Metropolises in the Korean Peninsula, Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, Vol. 17, No. 2, pp. 71~77.
- (5) Ries, M., Hahn, T. and Henkel, F.-O., 2017, Seismic Qualification of an Electrical Cabinet: Comparison of Analysis and Test Results, Proceedings of the 24th Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT-24).
- (6) Jeong, Y.-S., Eem, S.-H., Jeong, B.-G and Park, D.-U., 2019, Comparison of Response of Battery Charger in Nuclear Power Plant depending on Frequency Characteristics in Seismic Motions, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 29, No. 1, pp. 120~130.
- (7) Tran, T.-T., Cao, A.-T., Nguyen, T.-H.-X. and Kim, D., 2019, Fragility Assessment for Electric Cabinet in Nuclear Power Plant using Response Surface Methodology, Nuclear Engineering and Technology, Vol. 51, No. 3, pp. 894~903.
- (8) Kim, M. K., Choi, I.-K. and Seo, J.-M., 2012, A Shaking Table Test for an Evaluation of Seismic Behavior of 480V MCC, Nuclear Engineering and Design, Vol. 243, pp. 341~355.
- (9) Jeon, B.-G., Son, H.-Y., Eem, S.-H., Choi, I.-K. and Ju, B.-S., 2021, Dynamic Characteristics of Single Door Electrical Cabinet under Rocking: Source Reconciliation of Experimental and Numerical Findings, Nuclear Engineering and Technology, Vol. 53, No. 7, pp. 2387~2395.
- (10) Chang, S.-J., Jeong, Y.-S., Eem, S.-H., Choi, I.-K. and Park, D.-U., 2021, Evaluation of MCC Seismic Response according to the Frequency Contents through the Shake Table Test, Nuclear Engineering and Technology, No. 53, No. 4, pp. 1345~1356.
- (11) Huang, Y.-N., Whittaker, A. S., Kennedy, R. P. and Mayes, R. L., 2013, Response of Base-isolated Nuclear Structures for Design and Beyond-design Basis Earthquake Shaking, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 42, No. 3, pp. 339~356.
- (12) Kumar, M., Whittaker, A. S. and Constantinou, M. C., 2017, Extreme Earthquake Response of Nuclear Power Plants Isolated using Sliding Bearings, Nuclear Engineering and Design, Vol. 316, pp. 9~25.
- (13) Lee, D. and Constantinou, M. C., 2018, Combined Horizontal-vertical Seismic Isolation System for High-voltage-power Transformers: Development Testing and Validation, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 16, No. 9, pp. 4273~4296.
- (14) Lee, G. H., Kim, J. M. and Kim, S. Y., 2003, Seismic Retrofitting of Cabinet Structures in Nuclear Power Plant, Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, Vol. 7, No. 4, pp. 31~37.
- (15) Salman, K. and Cho, S. G., 2020, Effect of Frequency Content of Earthquake on the Seismic Response of Interconnected Electrical Equipment, CivilEng, Vol. 1, No. 3, pp. 198~215.



(16) Eem, S., Choi, I. K., Cha, S. L. and Kwag, S., 2021, Seismic Response Correlation Coefficient for the Structures, Systems and Components of the Korean Nuclear Power Plant for Seismic Probabilistic Safety Assessment, *Annals of Nuclear Energy*, Vol. 150, 107759.

(17) Choi, S. Y. and Han, S. H., 2004, Analysis of Component Reliability of Korean Standard Nuclear Power Plants, Technical Report KAERI/TR-2749.

(18) Electric Power Research Institute, 2007, Program on Technology Innovation: Seismic Screening of Components Sensitive to High-frequency Vibratory Motions, Final Report 1015109.



**Young-Soo Jeong** is received Ph.D. from Kyushu University in 2013. He is currently a researcher Seismic Research and Test Center in Korea. His research interests are in maintenance and finite element of steel structure.



**Dong-Uk Park** received his Ph.D. degree from Pusan National University with the topic related with improvement of numerical model using wireless measurement on railway bridge. He is currently the verification manager in Seismic Research and Test Center. His research interests encompass seismic evaluation of mechanical and electrical equipment and seismic performance of high frequency motion.