

지진 시 발전소 내 운용설비의 지지조건에 따른 진동 특성 평가 Evaluation of Vibration Characteristics According to Conditions of Support for Operating Facilities in a Power Plant under an Earthquake

이 상 문* · 전 범 규** · 윤 다 운** · 정 우 영†

Sang-Moon Lee*, Bub-Gyu Jeon**, Da-Woon Yun** and Woo-Young Jung†

(Received June 15, 2021 ; Revised July 27, 2021 ; Accepted August 30, 2021)

Key Words : Electrical Cabinet(전기캐비닛), Power Plant(발전소), Rocking Response(흔들림 반응), Shaking Table Test(진동대 실험), Support Condition(지지 조건)

ABSTRACT

It was reported that the Gyeongju and Pohang earthquakes that occurred recently caused a great deal of damage to non-structural elements, such as, power generation facilities as well as structural elements, such as, buildings. In the case of electric cabinets, which are non-structural elements of typical power generation facilities, when damage occurs due to earthquakes, secondary damage may be caused. In general, using an electric cabinet is a self-supporting method of fixing the bottom of the cabinet and the concrete slab using an anchor. When a deformation occurs at the bolt connection point due to vibration of the body during an earthquake, the fixing force is weakened, which may cause structural and functional damage. This functional damage can further impair the indirect social facilities; hence, earthquake protection is of utmost importance. In this study, a vibration table test was performed to confirm whether the vibrations during earthquakes were reduced by using the number of cabinet connection bolts as a parameter to improving the fixing force.

1. 서 론

규모 5.0이상 지진의 발생 빈도는 세계적으로 매년 증가하고 있는 추세이며, 국내 또한 2019년까지 규모 4.0이상의 지진이 50회 이상, 규모 5.0이상의 지진은 10회 이상 발생하였다. 이에 국내에서도 지진 피해에 대한 안전성을 확보하기 위하여 내진설계 및 보강을 수행하고 있지만, 구조물 자체의 내진안정성을 확보하는 것에만 주안점을 두고 있다⁽¹⁾.

최근 보고되고 있는 국내 지진피해사례를 살펴보면 구조물이 아닌 내부에 설치된 주요 설비 및 기기 등과 같은 비구조요소의 파손사례가 많았으며, 이로 인하여 사회간접자시설이 직·간접적으로 손상을 입게 되어 인명 및 재산피해가 추가적으로 발생한 사례들이 보고되고 있다⁽²⁾. 최근 발생한 2016년 경주지진과 2017년 포항지진의 다양한 지진피해사례 중 주요 사회간접자본 시설중의 하나인 발전소의 피해사례도 있었으며, 그 중 비구조요소인 전기기기 및 배관설비 등의 피해도 다수 보고된 바 있다⁽³⁾.

† Corresponding Author ; Gangneung-Wonju National University, Professor
E-mail : woojung@gwnu.ac.kr

* Gangneung-Wonju National University, Student

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

‡ Recommended by Editor Jin Yun Chung

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

시설물 내 대표적인 기계·전기 비구조요소인 전기캐비닛의 경우 일반적으로 시설물 고유의 기능을 유지하기 위하여 제어와 통신 등의 역할을 수행한다. 그러므로 전기캐비닛의 손상은 시설의 기능장애를 유발할 수 있으며, 특히 발전플랜트, 송변전설비와 같은 사회기반 시설의 기능장애는 사회전반적인 막대한 손실을 동반하는 2차 피해로 이어질 수 있기 때문에 반드시 내진 안전성이 확보되어야 한다. 이 같은 주요 기능을 담당하는 전기캐비닛의 지진거동특성을 분석하고 내진성능을 확보하기 위하여 국내외적으로 많은 연구가 수행되고 있다⁽⁴⁻⁸⁾.

일반적으로 원자력 설비를 제외한 대부분의 시설물 내 설치되는 전기캐비닛의 경우 콘크리트 슬래브에 앵커로 고정된 채널과 캐비닛의 바닥판이 볼트로 연결되어 지지된다. 내진성능 확보를 위하여 보강을 하는 경우, 실제 현장에서는 주로 채널과 콘크리트 슬래브를 연결하는 앵커를 추가하는 식으로 내진성능을 확보한다. 하지만 Fig. 1과 같이 지진 시 채널과 연결되는 캐비닛 바닥이 앵커에 비해 상대적으로 강성이 약하여 지진 시 발생하는 rocking 현상으로 앵

커볼트 주변에 국부변형(cup-like deformation)이 발생하게 된다⁽⁹⁾. 국부변형으로 인하여 캐비닛은 들림(uptifting)이 유발하게 되고, 이 현상으로 인하여 캐비닛 바닥과 채널이 충돌하여 충격이 발생하게 된다. 이러한 충격은 연결부 앵커볼트의 풀림 및 손상을 야기할 수 있으며 캐비닛 전체로 충격이 전달되어 결국 문고리 탈락현상 및 주요 장비 손상 등과 같은 피해로 이어지게 된다. 따라서 위에서 언급한 보강방법은 내진성능향상에 큰 효과가 없을 수 있다.

Fig. 2는 이 연구의 실험 조건을 간단하게 도식화한 것이며 rocking 현상으로 인하여 발생하는 바닥판의 국부변형을 저감시켜 충격을 완화하고자 채널-바닥판의 연결 볼트 수를 실제 설치 개수인 8ea와 10ea를 보강한 18ea를 비교하여 실험을 수행하였다.

비구조요소인 전기캐비닛의 내진성능을 증명하기 위해 국내는 2019년 3월 개정된 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00)⁽¹⁰⁾에서 지진 발생이후에 그 기능이 반드시 유지되어야 하는 주요 비구조요소에 대하여 내진성능을 증명할 것을 규정하고 있다. 원자력 발전소의 경우 안전과 관련된 주요 기기의 엄격한 내진성능 검증이 요구되고 있으며, 방송통신시설에서는 방송통신설비의 내진 시험방법⁽¹¹⁾으로서 진동대 시험으로 기본적인 내진설계를 검증하도록 되어 있다.

2. 비구조요소 내진시험 방법

일반적으로 지진 시 해당 시설물의 기능이 반드시 유지되어야 하는 전기캐비닛과 같은 주요 비구조요소의 내진시험은 실제 진동대 시험을 통하여 내진성능을 증명할 것을 국내 건축물 내진설계기준에서 규정하고 있다. 국외 ASCE 7⁽¹²⁾기준에서는 비구조요소는 지진하중 및 상대변위 요구사항을 만족시켜야 하며, 기능적·전기적 결함이 발생하지 않아야 할 것을 명시하고 있다. 이러한 비구조요소에 대하여 지진에 대한 요구 성능의 만족 여부는 ICC-ES AC 156등의 실험방법으로 검증할 수 있다⁽¹³⁾.

이 연구에서는 실제 수력발전소에서 사용하였던 전기캐비닛을 확보한 후 세계 2위 규모의 지진모사 진동대를 보유한 부산대 지진방재센터에서 진동대 시험을 통하여 내진성능 평가를 수행하였다. 시험은 ICC-ES AC 156을 참조하여 건축물 내진설계기준과 내진설계기준 공통적용사항에⁽¹⁴⁾ 부합되도록 요구

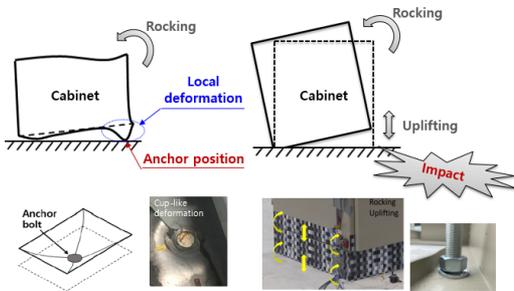


Fig. 1 Rocking response and uplifting of cabinet

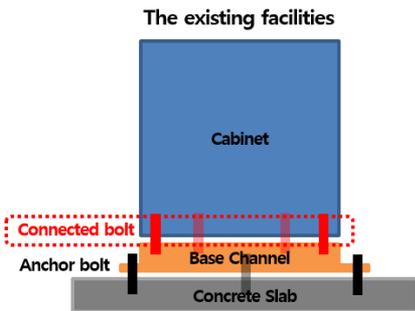


Fig. 2 Schematic of test boundary conditions

답스펙트럼(required response spectrum, RRS)과 인공지진과의 가속도시간이력을 작성하고 가속도 배율을 조정하였다. 캐비닛 본체의 구조 및 기능적 손상이 발생할 때까지 시험을 진행하였으며, 앵커하중응답, 지진하중특성, 내부 기기의 가속도 응답과 RTU 패널의 고유 기능유지 여부를 확인하였다.

3. 시험대상 및 설치조건

이 연구에서 사용한 발전소 내 운용설비인 전기 캐비닛은 실제 대청수력발전소에서 사용하였던 RTU (remote terminal unit) 전기캐비닛이다. RTU의 역할은 원격지에서 데이터를 수집, 전송 가능한 형식으로 데이터를 변환한 뒤 상위 대상 시스템으로 송신하며, 데이터를 수신하여 일련의 작업 절차들을 수행하는 중요한 설비이다⁽¹⁵⁾. 시험결과의 신뢰성을 향상시키기 위하여 수력발전소 현장에서 사용하였던 2기가 연결된 RTU를 시험대상으로 하였다. 캐비닛의 하부에 Fig. 3과 같은 base channel을 앵커볼트 M8을 사용하여 고정하였으며, 진동대 상부 콘크리트 슬래브에 후

설치 앵커볼트 M16을 이용하여 channel과 고정시킨 후 진동대 시험을 수행하였다.

Table 1은 시험대상인 RTU패널의 제원을 나타낸다. 여기서 RTU패널은 열반된 두 캐비닛의 무게 및 받침을 포함한 무게이며, 진동대 고정을 위한 앵커볼트는 M16 6개를 사용하였다.

시험 설치조건은 지진동으로 발생하는 rocking 현상에 의한 캐비닛 본체의 충격을 완화하고자 Fig. 4와 같이 채널-캐비닛 간 연결 볼트의 수를 매개변수로 하여 조정하였다. 연결 볼트 8ea로 구성된 set 2의 경우는 실제 현장 설치조건이며, set 1의 경우는 설치 간격을 4배수로 조정하고 좌우를 보강하기 위한 추가설치 포함, 총 18ea로 구성하여 지진동의 충격으로 발생하는 하부 국부변형을 최대한 방지하고자 하였다. 시험 순서는 캐비닛 모체의 손상을 최소화하기 위하여 set 1을 먼저 진행하고 set 2를 나중에 진행하였다.

4. 입력지진동

일반적으로 시설물 내 설치되는 운용설비의 경우

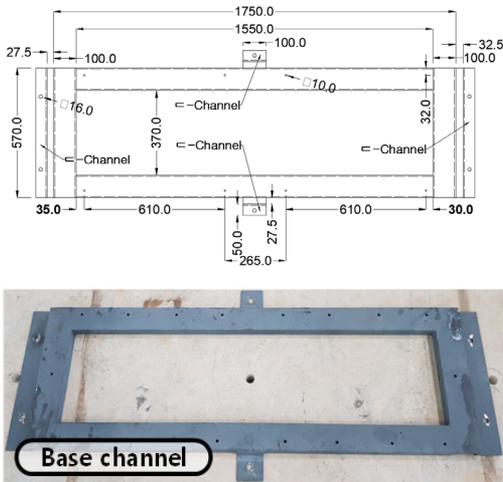
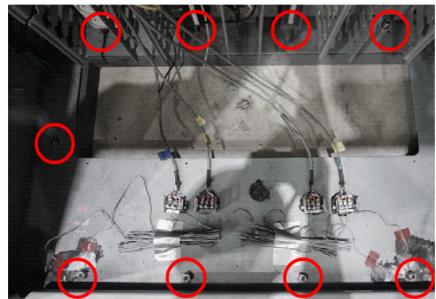


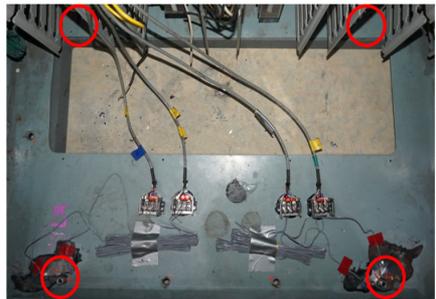
Fig. 3 Description of the base channel

Table 1 Description of specimens

Name	Model (detail)	Specification [mm]			Weight [kg]
		L	W	H	
RTU panel	RTU No.2-1	880	620	2350	518
	RTU No.3-1	880	620	2350	



(a) Set 1 (anchor 18ea)



(b) Set 2 (anchor 8ea)

Fig. 4 Test conditions between cabinet and channel (same conditions left and right cabinet bottom)

Table 2 Seismic parameters for artificial earthquake

Name	Code	SDS [g]	z/h	AFLEX-H [g]	ARIG-H [g]	AFLEX-V [g]	ARIG-V [g]
EQ1	KDS	0.55	1	0.88	0.66	0.36	0.14
EQ2	Common application of seismic design criteria	0.825	1	1.32	0.99	0.55	0.22
EQ3	200 % of EQ1	1.10	1	1.76	1.32	0.73	0.29

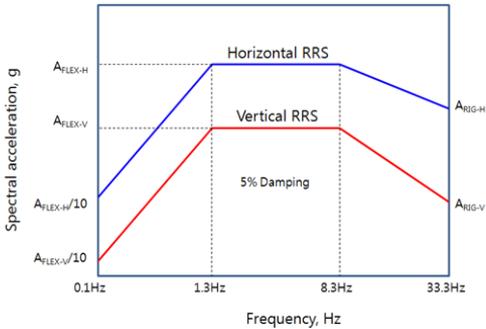


Fig. 5 Response spectrum of ICC ES AC 156

해당 설비의 역할 및 특징 등이 반영되어 일반 건축물 및 산업시설 등에 설치된다. 따라서 일반 건축물에 설치되는 경우와 산업시설에 설치되는 경우를 함께 고려하기 위하여 건축물 내진설계기준과 내진설계기준 공통적용사항을 참조하였으며, ICC-ES AC 156에서 제시한 방법에 의해 요구응답스펙트럼을 Fig. 5와 같이 작성하였다⁽¹⁶⁾.

시설물의 응답을 고려한 ICC-ES AC 156의 가속도시간이력 생성을 위한 seismic parameter는 Table 2와 같다. 기기 설비는 정의되지 않은 임의의 구조물의 모든 층에 설치될 수 있다. 그러므로 이 연구에서는 가장 엄격한 조건인 최상층 설치를 고려하여 구조물과 설치 위치의 비(z/h)를 1로 가정하였다. RRS는 ICC-ES AC 156의 요구사항에 따라 작성하였으며 감쇠비는 5%이다. 작성된 가속도 시간이력의 진동 지속시간은 30초이고, 강진 지속시간은 20초이다. 5초 동안 가속도 크기가 상승하여 20초간 강진이 지속된 후 5초 동안 가속도의 크기가 줄어든다.

5. 진동대 시험

5.1 시험 계획

RTU 패널의 상하부 및 중앙부와 내부 주요 부품인

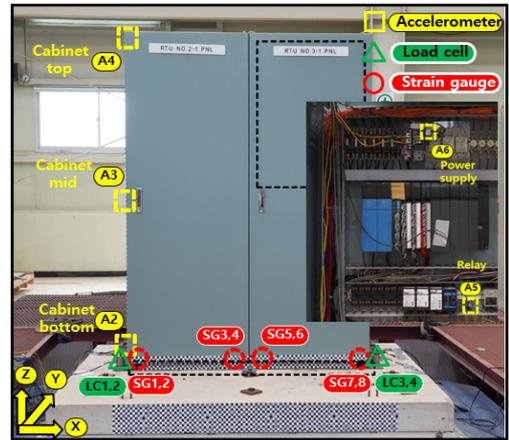


Fig. 6 RTU cabinet and sensor location

파워 서플라이(power supply), 릴레이(relay) 주변에 3축 가속도계(A2 ~ A6)를 설치하여 가속도 응답을 계측하였다.

RTU패널과 부전도 먼진장치를 연결하는 볼트 주변 바닥판의 두께는 2 mm ~ 3 mm 수준으로 과도한 외력에 의해 국부적인 변형이 발생할 우려가 있다. 따라서 볼트 중심에서 20 mm 떨어진 위치에 직교하는 수평방향으로 strain gage(SG1 ~ SG8)를 설치하였다. Sampling rate는 512 Hz이고 계측기의 설치위치는 Fig. 6과 같다.

5.2 시험 방법 및 순서

진동대 시험을 위하여 수력발전소에서 사용하였던 RTU 전기캐비닛을 콘크리트 기초에 연결하고 진동대에 고정하였다. 하부 채널은 M16 확장형 후설치 앵커볼트 6개를 이용하여 4면을 고정하였다. 캐비닛 좌우의 앵커볼트 4개에는 ring type의 로드셀을 설치하여 시험 중 전달되는 앵커하중을 계측하였다. 시험대상 RTU 내 power supply에 3축 가속도계를 설치하였으며, relay가 설치되는 내부 강판에 가속도계

Table 3 Test procedure and method

No	Test name	Test method
1	Visual inspection before testing	
2	Function verification	On-off-on test
3	Resonant frequency search	Low-level amplitude(0.05 g) single-axis sinusoidal sweep (0.5 ~ 50.0) Hz, 2 octave/min. X, Y, Z axis independently
4	Seismic simulation EQ1	Time duration 30 s, strong motion 20 s, 0.5 Hz ~ 50 Hz damping ration 5 %, triaxial test
5	Visual inspection after EQ1 test	
6	Function verification	On-off-on test after EQ1 test
7	Seismic simulation EQ2	Time duration 30 s, strong motion 20 s, 0.5 Hz ~ 50 Hz damping ration 5 %, triaxial test
8	Visual inspection after EQ2 test	
9	Function verification	On-off-on test after EQ2 test
10	Seismic simulation EQ3	Time duration 30 s, strong motion 20 s, 0.5 Hz ~ 50 Hz damping ration 5 %, triaxial test
11	Visual inspection after EQ3 test	
12	Function verification	On-off-on test after EQ3 test

를 설치하여 주요기기 위치에서의 가속도응답을 계측하였다. 모든 시험 전후에 기능검사와 육안검사를 수행하였으며, 기능검사는 내부회로의 건전성을 확인하기 위하여 on-off-on test를 수행하였다. 시험 전 시험 대상의 공진주파수를 확인하기 위하여 구조물에 손상을 미치지 않는 수준의 가속도 입력(0.05 g)으로 단방향 주파수 소인 시험을 각 방향에 대해 수행하였다.

지진모사시험은 두 개의 수평축(전후, 좌우)과 하나의 수직축(상하)에서 동시에 가진되는 동적 시험으로서, 진동대 바닥에서 계측된 가속도 응답의 TRS(test response spectrum)가 RRS(required response spectrum)를 포락하도록 수행하였다. 시험은 시험 전 검사-기능검사-공진탐색-지진모사시험-시험 후 검사-시험 후 기능검사의 순으로 수행되었다. 시험의 절차는 ICC-ES AC 156을 참조하여 Table 3과 같이 수행하였다.

6. 시험 결과

6.1 육안 점검

진동대 시험 종료 후 RTU 패널의 지진동으로 인

Table 4 Results of resonance frequency search tests

Sensor location	Direction	Lowest resonance frequency [Hz]	
		Set 1	Set 2
A4 (top)	Side to side (X)	10	5.25
	Front to back (Y)	7.25	5
	Vertical (Z)	N/A	N/A
A3 (middle)	Side to side (X)	10	5.25
	Front to back (Y)	7.25	7.25
	Vertical (Z)	N/A	N/A
A6 (power supply)	Side to side (X)	10.5	5.5
	Front to back (Y)	7.25	5
	Vertical (Z)	11.25	11.5

한 구조적 손상을 육안으로 먼저 확인하였다. 시험 종료 후 연결 볼트 수가 18개인 set 1에서는 잠금장치를 구성하는 너트의 토크가 풀리는 수준의 경미한 구조적 문제가 발생하였다. 하지만 연결 볼트 수가 8개인 set 2 경우 내진설계기준 공통사항에 해당되는 인공지진하중 150 % EQ2에서 잠금장치가 손상되었으며, 200 % EQ3에서는 잠금장치의 부품이 탈락되어 캐비닛 도어가 열렸다. 이는 캐비닛-채널간의 연결강성이 충분하지 못하여 지진하중에 의해 외함의 들림현상(uplifting)이 발생하였으며, 하판 볼트 주변에 충격이 누적되어 결과적으로 누적소성변형으로 인하여 힌지 부분의 판넬이 휘어지는 구조적 손상이 발생한 것으로 판단된다.

6.2 공진주파수

시험대상의 공진주파수는 진동대에서 계측된 가속도(base, a)에 대한 실험대상의 각 위치에서 응답가속도(unit, b)의 전달함수를 계산하여 결정하였다. 전달함수(T_{ab})는 식 (1)과 같이 입력된 신호의 power spectral density(P_{aa})에 대한 입·출력신호의 cross power spectral density(P_{ba})로 계산한다.

$$T_{ab}(f) = \frac{P_{ba}(f)}{P_{aa}(f)} \quad (1)$$

공진주파수 분석의 정밀도를 향상시키기 위하여 각 신호는 특정 관심 있는 영역에 일정한 패턴의 대칭적인 부분을 정확하게 묘사하는 대칭 해밍 창(symmetric hamming window)이 적용되었다⁽¹⁷⁾. Table 4를 보면 알 수 있듯이 캐비닛-채널 연결 볼트 수

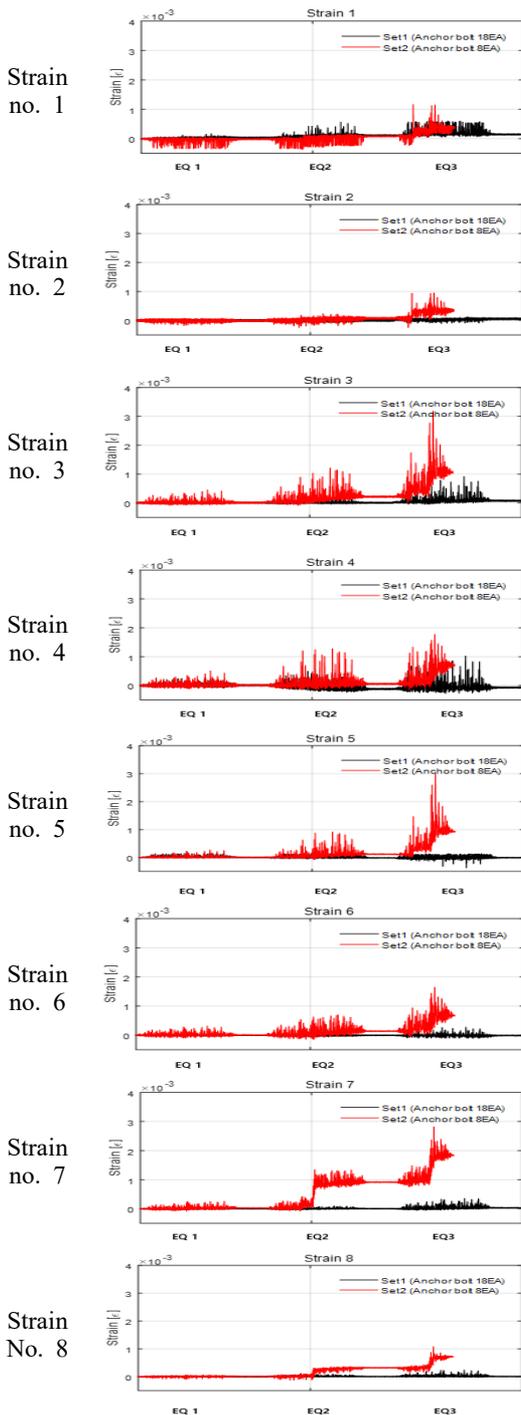


Fig. 7 Strain responses around for connected anchor bolt between cabinet and channel

가 적은 set 2의 공진주파수가 set 1 대비 30%~40% 수준까지 낮아지는 것을 확인 할 수 있다. 공진주파

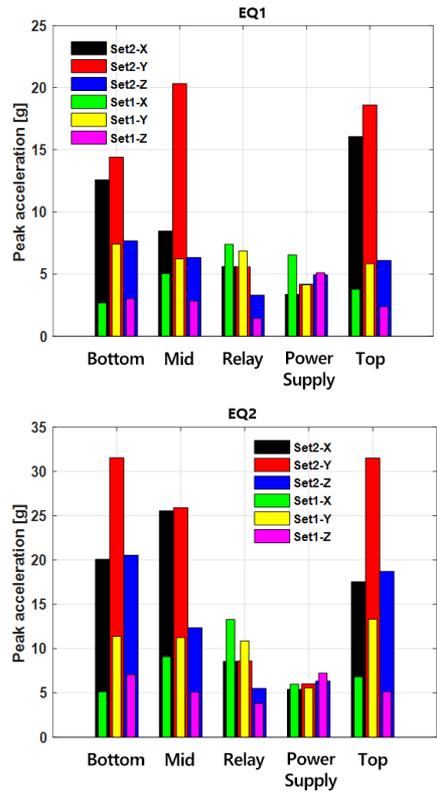


Fig. 8 Maximum acceleration response of the cabinet and devices

수가 낮아진다는 의미는 본체의 강성이 그만큼 작아지는 지게 되는 것이며, 지진동과 같은 외부 하중에 노출되었을 시 본체에 전달되는 충격이 더 크게 작용될 수 있을 것으로 판단된다.

6.3 변형률 및 가속도 응답

Fig. 7은 진동대 시험 중 캐비닛-채널 간 연결 볼트 주변에서 계측된 변형률 응답이다. Gage 홀수는 좌우 방향, 짝수는 전후방향을 계측한 결과이다. 계측 결과를 보면 좌우방향을 계측한 홀수 gage에서 변형률이 더 크게 나타난 것을 알 수 있는데 Fig. 4와 같이 연결 볼트를 캐비닛 바닥의 전후방향에 더 많이 설치했기 때문인 것으로 판단된다. 검은색으로 표시된 그래프는 set 1이며, 붉은색으로 표시된 그래프는 set 2이다. Set 2의 결과를 살펴보면 상대적으로 set 1 대비 전반적으로 누적소성변형이 확인되고 있으며, 7번 gage에서 가장 크게 발생한 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 본체 및 내부 기기에서 계측된 가속도 응

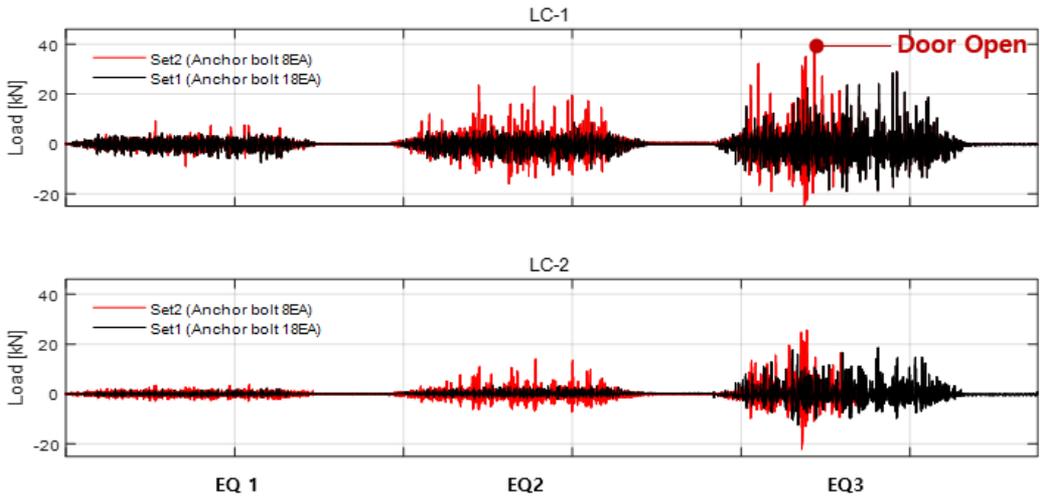


Fig. 9 Comparison of anchor load response of set 1 and set 2

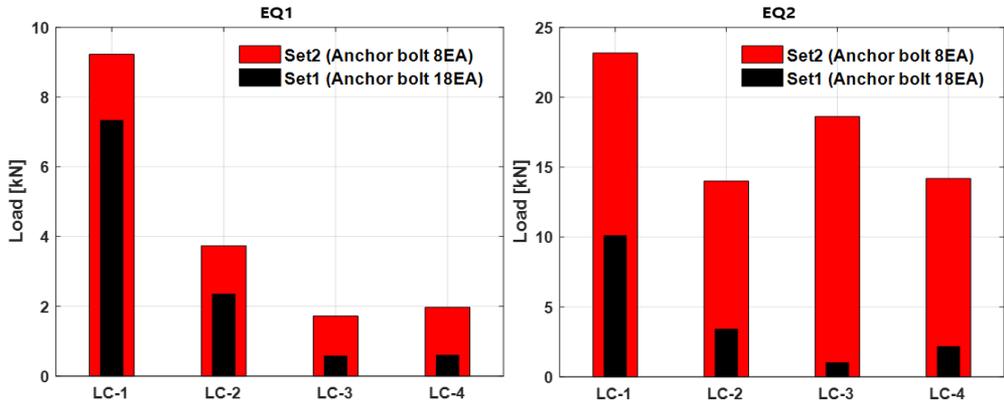


Fig. 10 Comparison of maximum anchor load response of set 1 and set 2

답을 비교한 그래프를 나타낸 것이다. 200 % EQ3 가진 중 시험대상설비가 손상되어 직접적인 비교를 배제하고 EQ1과 EQ2 두 가지 경우에 대해서만 비교하였다. 가속도 응답 역시 변형률 결과와 동등하게 연결 볼트가 적은 set 2의 가속도 응답이 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. EQ1과 EQ2 모두 내부 기기 위치에서의 가속도 응답은 소폭 증가하고 있으나 캐비닛 프레임을 따라 설치된 가속도계에서 측정되는 응답은 50% 이상 감소하고 있다. Set 1 바닥에서의 가속도 응답이 현저히 줄어드는 것을 확인 할 수 있는데, 이는 캐비닛의 들림에 의한 충격이 연결 볼트 수의 증가에 따라 효과적으로 억제되고 있는 것으로 판단된다.

6.4 앵커 하중 응답

캐비닛 고정부 앵커에 전달되는 하중을 예측하기 위하여 캐비닛 바닥 좌우 앵커볼트 4개에 ring type의 로드셀을 설치하여 시험 중 전달되는 앵커하중을 예측하였다. Fig. 9는 문 고정 장치가 파손된 캐비닛에 위치한 로드셀에서 측정된 앵커하중이다. 붉은색으로 표시된 set 2는 충격으로 추정되는 하중응답이 인공지진 150%부터 급격히 증가하고 있다. 그러나 연결 볼트의 수가 증가하여 채널과 캐비닛 하판의 체결력이 증가된 set 1의 경우는 인공지진 150%까지 충격하중이 효과적으로 제어되고 있음을 알 수 있다. Fig. 10은 로드셀 1~4의 최대 앵커하중을 나타낸 것

이며, 전반적으로 set 1이 충격하중을 효과적으로 억제하고 있는 것을 알 수 있다. 이는 증가된 연결 볼트에 의하여 캐비닛 본체의 강성이 증가됨에 따라 진동 저감 능력이 향상되는 것으로 판단된다.

7. 결 론

이 연구는 발전소 내 운용설비에 대하여 지진 시 설비에 충격을 미치는 지진동의 영향을 감소시키고자 고정부 앵커의 내진보강방법에 대한 기초 연구이다. 입력지진동은 구조물에 의한 지진가속도 증폭효과를 고려하여 건축물내진설계기준과 내진설계기준 공통 적용사항을 바탕으로 작성하였으며, ICC ES AC 156의 시험방법을 준용하여 캐비닛-채널 간 연결 볼트의 수를 매개변수로 3축 동시 가진에 의한 진동대 지진 모사실험을 수행하였다.

(1) 기존의 내진보강은 캐비닛 하부 채널과 콘크리트 기초간의 앵커 볼트 수만 조정함으로써 지진동의 영향을 억제하고 있다. 하지만 캐비닛 본체와 채널 연결부의 강성이 약할 경우 지진동으로 인한 rocking 현상으로 들림이 발생하며 그 충격으로 응답신호가 증폭될 우려가 있다.

(2) 캐비닛-채널 간 연결 볼트 수를 매개변수로 진동대 시험을 한 결과 볼트 수를 증가시킨 set 1의 공진주파수가 set 2 대비 40%~50% 정도 증가되었으며, 이는 체결력 향상에 따른 연결부의 강성이 증가되었기 때문인 것으로 판단된다.

(3) 연결 볼트 수의 증가에 따른 캐비닛 하판의 소성변형이 억제되면서 앵커 하중 응답의 경우 EQ 2에서 평균적으로 60%이상 감소되었으며, 응답 가속도의 경우, 캐비닛 내부 기기의 가속도 응답은 증가하나 캐비닛 프레임에서 계측되는 가속도 응답은 50% 감소되는 것으로 계측되었다.

(4) 캐비닛과 채널 간 연결 볼트 증가에 따른 전후, 좌우, 상하 방향의 동시 가진에 의한 지진모사 실험 결과 지진동의 영향이 효과적으로 제어되는 것을 알 수 있었다. 단 이 연구는 수직방향 지진의 크기가 수평방향의 27% 수준인 ICC-ES AC 156의 요구응답 스펙트럼을 기반으로 수행된 결과이므로 수직성분이 강한 지진에 대한 성능평가가 추가로 수행될 필요가 있을 것으로 판단된다.

향후 기존 전기 캐비닛의 내진 보강과 더불어 이 연구에서 수행한 내진 보강방법을 추가한다면 지진 발생에 따른 피해가 최소화 될 것으로 기대된다.

후 기

이 연구는 국토교통부 플랜트연구사업의 연구비지원(211IFIP-B128598-05)에 의해 수행되었습니다.

References

- (1) Lee, S. H., Choi, H. S. and Jeon, B. G., 2014, Test Procedures and Practices of Seismic Performance Certification for Nonstructural Components, Magazine of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 18, No. 3, pp. 48~56.
- (2) Oh, S. H., Park, H. Y. and Choi, K. K., 2018, Seismic Damage Status and Characteristics of Non-structural Elements, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 28, No. 2, pp. 71~77.
- (3) Ministry of the Interior and Safety, 2018, 2017 Pohang Earthquake White Paper.
- (4) Lee, S.-M. and Jung, W.-Y., 2020, Evaluation of Anchorage Performance of the Switchboard Cabinet under Seismic Loading Condition, Advances in Mechanical Engineering, Vol. 12, No. 5, Article no. 1687814020926309.
- (5) Eem, S.-H., Jeon, B.-G., Jang, S.-J. and Choi, I.-K., 2019, Evaluate the Characteristics of Vibration Caused by Rocking Modes of Electric Cabinet under Seismic Loading, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 29, No. 6, pp. 735~744.
- (6) Moon, J.-Y., Kwon, M.-H., Kim, J.-S. and Lim, J.-H., 2018, Seismic Fragility Evaluation of Cabinet Panel by Nonlinear Time History Analysis, Journal of the Korea Academia-industrial Cooperation Society, Vol. 19, No. 2, pp. 50~55.
- (7) Gupta, A., Rustogi, S. K. and Gupta, A. K., 1999, Ritz Vector Approach for Evaluating Incabinet Response Spectra, Nuclear Engineering and Design, Vol. 190, No. 3, pp. 255~272.
- (8) 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, Vol. 53, No. 4, pp. 1345~1356, doi: 10.1016/j.net.2020.10.002.

(9) Yun, D.-W., Chang, S.-J., Jeon, B.-G., Eem, S.-H. and Choi, I.-K., 2019, An Experimental Study on Characteristics of Vibration Caused by Rocking Modes of Electric Cabinet under Seismic Loading, Transactions of the SMiRT-25, Division V.

(10) Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2019, Korean Design Standard 41 17 00.

(11) National Radio Research Agency, 2015, Seismic Test Method for Telecommunication Facilities.

(12) Ghosh, S. K. and Fanella, D. A., 2003, Seismic and Wind Design of Concrete Buildings (2000 IBC, ASCE 7-98, ACI 318-99), Kaplan AEC Engineering, U.S.A.

(13) American Society of Civil Engineers, 2017, Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, 13.2.5., ASCE 7-16.

(14) Ministry of the Interior and Safety, 2017, Common Application of Seismic Design Criteria.

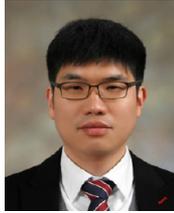
(15) Salahudin, F. and Setiyono, B., 2019, Design of Remote Terminal Unit (RTU) Panel Supply Monitoring Based on IOT Case Study at PLN., 6th International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), Semarang, Indonesia, pp. 1~6.

(16) Lee, S. M., Jeon, B. G., Yoon, D. W., Kim, S. W. and Jung, W. Y., 2020, Seismic Response Characteristics of Used Molded Transformer Anchored on Concrete Slab, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 30, No. 6, pp. 624~633.

(17) Mottaghi-Kashtiban, M. and Shayesteh, M. G., 2011, New Efficient Window Function, Replacement for the Hamming Window, IET Signal Processing, Vol. 5, No. 5, pp. 499~505, doi: 10.1049/iet-spr.2010.0272.



Sang-Moon Lee received his Master degree from Gangneung-Wonju National University with the topic related with evaluation of the applicability of reinforced concrete beams using FRP. He is currently a Ph.D. student at the Department of Civil Engineering of Gangneung-Wonju National University.



Bub-Gyu Jeon received his Ph.D. degree from Pusan National University with the topic related with seismic fragility evaluation of base isolated nuclear power plant piping system. He is currently the technical laboratory manager in Seismic Simulation Test Center. His research interests include seismic evaluation of nonstructural elements and seismic behavior of internal pressured piping system.



Woo-Young Jung received his Ph.D. degree from the State University of New York at Buffalo with the topic related with seismic retrofitting Strategies of Semi-rigid Steel Frame by using Polymer Matrix Composite Materials. He is currently a professor at the Department of Civil Engineering of Gangneung-Wonju National University.