

<기술논문>

# 원전 안전등급설비의 기기검증 관련 기술표준 및 절차

이동연<sup>†</sup> · 김명윤<sup>\*</sup>

## A study on technical standards and procedures related to qualification of nuclear safety grade equipment

Dong Yeon Lee<sup>†</sup> and Myeong Yun Kim<sup>\*</sup>

(Received 31 October 2018, Revised 7 June 2019, Accepted 17 June 2019)

### ABSTRACT

In this paper, the regulations and technical standards related to qualification of safety grade equipment in nuclear power plants are critically reviewed with the qualification procedure in terms of structures, systems, and equipment in nuclear power plants. These facilities should be designed and constructed to protect from natural conditions or disasters and to perform their safety functions even in case of postulated accidents. Equipment Qualification is to demonstrate that the safety related equipment is designed and constructed to perform their safety functions under normal and accident conditions. It is classified into environmental qualification and seismic qualification.

**Key Words :** Equipment Qualification (기기검증), Environmental Qualification (내환경검증), Seismic Qualification (내진검증), Design Basis Event (설계기준사건)

## 1. 서 론

원자력발전소는 구조물(Structure), 계통(System), 기기(Equipment)로 구성되며 원전시설 및 설비는 자연환경이나 재해로부터 보호되고, 환경요인이나 가상사고(Postulated Accident) 조건에서도 고유의 안전 기능을 충분히 수행할 수 있도록 설계/제작 및 설치되어야 한다.

기기검증이란 안전성 관련 기기가 정상상태와 가상사고 동안 및 사고 후에도 그 기능을 충분히 수행할 수 있도록 설계/제작 되었는지를 입증하고 보증하는 과정으로 크게 내환경검증(EQ ; Environmental Qualification)과 내진검증(SQ ; Seismic Qualification)으로 분류된다.

내환경검증은 원자력 기기 및 부품의 내열성, 내습성, 방사선 내성, 압력 내구성 등을 입증하는 과정이며 기기 및 부품이 정상 운전 환경조건에서 설계수명 기간 동안 계속적으로 사용되면서 나타나는 경년열화 현상과 안전성능에 미치는 영향을 평가하여 검증수명(Qualified Life)을 결정하고 그에 따라 적절한 교체 및 보수 계획을 수립하는데 목적이 있다.

내진검증은 지진이나 진동에 대한 원자력 기기 및 부품의 구조 및 기능적 건전성을 입증하는 과정이며, 이들 기기 및 부품은 지진이나 진동에 의한 구조적 변형이나 고장 및 기능저하가 일어나지 않도록 설계/제작 되어야 한다. 내진설계의 만족 여부는 내진범주 I에 속하는 기기의 경우에는 시험을 통해 입증하고, 내진범주 II에 속하는 기기의 경우에는 해석적 방법을 통해 입증할 수 있다.

본 논문에서는 원전 안전등급설비의 기기검증과 관련된 법규 및 기술표준을 분석하고 전체적인 수행 절차를 제시하였다.

<sup>†</sup> 책임저자, ㈜수산이엔에스  
E-mail : ldy101214@soosan.co.kr  
TEL : (02)2184-0940 FAX : (02)2226-0988  
<sup>\*</sup> ㈜수산이엔에스

## 2. 법규 및 기술표준

미국의 법규 및 기술표준은 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫번째로 미국의 에너지 법령인 10 CFR(Code of Federal Regulations)이 있으며, 두번째로 원자력 규제 위원회(Nuclear Regulatory Commission ; NRC)가 발행하는 규제지침서(Regulatory Guide ; RG), NUREG, SRP(Standard Review Plan) 등이 있다. 마지막으로 산업계 민간단체에서 발간하는 기술표준(IEEE, ASME, ANSI, ASCE 등)이 있으며, NRC는 규제지침서를 통해 산업계 기술표준을 원전사업에 적용할 수 있도록 검토 및 승인한다.

국내 원전의 경우 미국의 법규 및 기술표준을 준용하고 있으며, 국내 적용 법규로는 원자력안전법이 적용되고 규제지침은 한국원자력안전기술원(KINS)이 발간한다. 그 외 기술표준은 전력산업기술기준(KEPIC)이 적용되고 있다.

### 2.1 10 CFR 50.49

미국 연방규제법인 10CFR50.49규정은 1983년 1월에 발행되고 1983년 2월부터 효력을 갖게 되었다. 이 규정은 잠재적으로 열악한 환경에 위치하는 안전등급 전기기기(Class 1E)의 내환경검증을 위하여GDC(General Design Criteria) 4의 일반기술 요건으로의 승인을 위한 상세 요건을 문서화하기 위해 제정되었다.

10CFR50.49는 원자력발전소의 열악한 환경에 위치하는 안전에 중요한 전기기기의 내환경검증에 적용된다. 안전에 중요한 기기에 대한 정의는 다음과 같다.

- LOCA(Loss of Coolant Accident ; 냉각재상실사고), MSLB(Main Steam Line Break ; 주증기배관 파단사고), HELB(High Energy Line Break ; 고에너지배관파단사고) 및 지진 등을 포함한 DBE(Design Basis Event ; 설계기준사건)의 방지 및 완화를 위하여 필요한 안전성 관련 기기
- 가상된 설계기준사건(DBE) 동안 기기의 고장이 설계기준사건(DBE)의 완화를 저해할 수 있는 비안전성 관련 기기
- 사고 후 감시기능을 수행하는 기기

미국 연방규제법인 10CFR50.49에 대응하는 국내 법규로 원자력안전법 시행규칙 제 20조 6항이 적용된다.

### 2.2 Regulatory Guide 1.89

RG 1.89<sup>(1)</sup>는 산업계 기술표준인 IEEE323-1974의 요건을 승인하면서 다음과 같은 NRC의 추가지침을 제시한다.

- 10CFR50.49에 열거된 대상기기의 적용범위에 대한 보충설명
- 격납건물 내/외측 환경조건 설정 방법
- 차폐된 기기의 경우 감마 및 베타에 의한 합성선량을 대신하여 감마 방사선만으로 검증을 수행하는 것에 대한 적정성
- 침수, 급격한 압력변화 및 일시적인 기능상실 감시 등의 사항을 형식시험 절차에 포함하기 위한 보충설명
- 안전기능 수행 전의 운전시간에 대한 여유도
- 노화시험 시 고려사항
- 교체기기의 검증 및 적용 불가 사유
- 감사가 가능한 검증문서

NRC RG 1.89에 대응하는 국내 규제지침으로 KINS/RG-N03.03(원전 관련 계측 및 전기기기에 대한 내환경검증)이 적용된다.

### 2.3 Regulatory Guide 1.100

RG 1.100<sup>(2)</sup>은 산업계 기술표준인 IEEE344-1987의 요건을 승인하고 내진검증을 위한 NRC의 추가지침을 제공한다. 해당 지침은 내진검증이 이루어져야 하는 모든 주요 안전성 기기에 적용된다. 본 규제지침에서는 적용 범위를 안전성 전기기기 외에 기계류 기기 및 고장 시 안전기능에 영향을 주는 기기까지 확장하였다. 범위에 포함되는 기계기기 및 기기 지지장치에는 밸브, 밸브 구동장치, 펌프, 압축기, 냉동기, 공조기, 팬, 송풍기, 배관 지지대, Restrains, 행거, 연료봉 집합체 및 제어구동 기구가 포함된다.

NRC RG 1.100에 대응하는 국내 규제지침으로 KINS /RG-N03.02(원자력발전소 기계 및 전기기기의 내진검증)이 적용된다.

### 2.4 IEEE 279

IEEE 279(Criteria for Protection System for Nuclear Power Generating Stations)는 IEEE(전기 전자 기술자 협회)에 의해 작성된 최초의 원자력 규격으로 원자로 보호계통의 설계, 검증, 제작사 및 설치에 대한 요건을 수록하고 있다. 해당 규격의 '4.4항 기기검증'에서는 시험 또는 분석을 통한 계통설계 능력의 확인을

요구하고 있다.

IEEE 279에 대응하는 국내 기술표준으로 KEPIC ENB 6100(보호계통 설계)가 적용된다.

## 2.5 IEEE 323

IEEE 323(Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations)<sup>(3)</sup>은 1971년에 Trial Use Guide로 최초 발행되었으며, IEEE279-71 4.4항의 검증요건에 대한 상세 지침을 제공한다. 이후 1974년 정식 버전이 발행되었고, 해당 년판의 적용으로부터 얻은 지식과 경험을 반영하여 1983년에 추가 개정이 이루어졌다. IEEE 323은 모든 Class 1E 기기 및 Class 1E 기기와 접촉하는 기기에 적용되며, Class 1E 기기의 검증 및 유지를 위한 기준과 절차를 제공한다.

현재 원전에 적용되고 있는 최신 버전인 IEEE323-2003년판은 IEEE323-1983년판의 개정판이며 1983년판을 적용하면서 현실적으로 개선이 필요한 부분을 반영한 것이다. 해당 기술표준에서 1983년판에 비해 변화된 부분은 다음과 같다.

- 1983년판은 열악한 환경의 Class 1E 기기 및 사고 후 감시기기의 검증에 사용되어 왔으나, 2003년판의 경우 온화한 환경에 위치한 기기의 검증에도 활용될 수 있도록 개정되었으며, 열악한 환경에 위치한 기기의 경우에는 더욱 엄격한 검증 문서 요구사항이 적용되었다.
- 원전사고와 관련된 DBE(Design Basis Event), DBA (Design Basis Accident), LOCA(Loss of Coolant Accident), HELB(High Energy Line Break) 등과 같은 용어들을 ‘Design Basis Event’로 통일시켰다.
- 설계기준사건(DBE) 프로파일의 시험 여유도 적용이 변경되었다. 온도, 압력, 방사선, 운전시간에 대해 정량적 여유도를 부여함으로써 IEEE323-1974년판에서 적용되었던 2번의 과도상태는 적용하지 않고 설계기준사건(DBE) 프로파일에 시험 여유도만 주는 것으로 개정되었다.
- 원전에 새로이 적용되고 있는 디지털 시스템 및 개선된 아날로그 시스템의 경우 전자파(EMI/RFI) 및 전력 서지의 민감도에 대한 시험이 요구되며 이에 대한 영향이 검토되어야 함을 명시하고 있다.
- 1983년판은 기기가 성능 요구치를 계속적으로 만족하는 기간을 검증수명으로 명시하였다. 이

에 반해 2003년판은 기기의 성능 요구치가 만족되는 기기의 경년열화 상태를 정의하고 이를 검증 만족 상태로 명시하고 있다. 따라서 기기의 검증 만족 상태가 계속 유지될 경우 기존의 검증 수명을 초월하더라도 계속 사용할 수 있도록 하였다. 2003년판은 ‘5.2 Extension of qualified life’와 ‘5.3 Condition monitoring’ 항목을 신설하여 검증수명 연장에 대한 내용을 구체화하였으며, 특히 5.2.d 요건에는 기기부품 중 경년열화에 민감한 부품을 신제품으로 교체하여 기기의 검증상태를 계속 유지할 수 있는 방안을 제시하고 있다.

IEEE 323에 대응하는 국내 기술표준으로 KEPIC END 1100(전기 1급 기기검증)이 적용된다.

## 2.6 IEEE 344

IEEE 344(Standard for Seismic Qualification of Equipment for Nuclear Power Generating Stations)<sup>(4)</sup>은 1971년에 Class 1E 전기기기의 검증을 위한 IEEE323-1971년판의 일반적인 지침을 보충하기 위해 발행되었다. 해당 규격은 시험과 분석에 있어서의 내진검증에 대한 방법론을 정의하고 있다. 이후 개정된 IEEE 344-1975년판은 1971년판의 개정판이며 산업계의 권고와 새로운 요구사항이 추가되었다.

1975년판에서는 내진검증의 개선을 위한 새로운 개념인 요구응답스펙트럼(Required Response Spectrum ; RRS) 및 시험응답스펙트럼(Test Response Spectrum ; TRS)를 도입하였다. 또한 단일 주파수 대비 다중 주파수 시험 및 단일축 대비 다중축 시험의 적용을 위한 기준이 정의되었다.

IEEE344-1987년판은 1975년판의 개정판이며 1975년판 이후의 새로운 기술적 개념을 반영한 것이다. 1987년판에서는 Seismic Qualification Utility Group (SQUP)의 검토 결과를 반영하여 동일하거나 유사한 기기의 내진검증을 위한 지진 경험 데이터의 사용에 대한 지침을 제공하는 Section을 추가하였다.

이후 발행된 IEEE344-2004년판에서는 IEEE344-1987의 9절에서 이미 언급된 내진검증 시험 경험데이터를 적용하는 방법론에 대해 SQUP에서 보다 진전된 연구결과를 도출함에 따라 10절 및 11절에 이 결과를 재 기술하였다. 이러한 지진 경험 데이터 적용 방법론에 언급은 ‘미해결 안전사항’인 Unresolved Safety Issue(USI) A-46, ‘운전 중인 원전의 기계/전기 기기

내진검증'에 대한 후속조치의 일환으로 이루어진 것이다.

IEEE 344에 대응하는 국내 기술표준으로 KEPIC END 2000(전기 1급 기기 내진검증)이 적용된다.

**2.7 ASME**

안전성 관련 기계기기의 환경 및 내진검증에 요구되는 규격의 작성 및 발행을 위하여 1982년에 ASME Qualification of Mechanical Equipment(QME) 위원회가 구성되었다. 이 위원회는 기계기기의 검증을 기술하기 위한 통합된 규격을 개발하였고, 여기에는 다음과 같은 3개의 Subsection이 포함된다.

- Subsection QR ; General Requirements
- Subsection QP ; Qualification of Pump Assemblies
- Subsection QV ; Qualification of Valve Assemblies

Subsection QR은 원전의 안전성 관련 기계기기의 내진 및 내환경검증을 위한 기본적인 일반 요건을 제시한다. Subsection QP는 전동기를 제외한 안전성 관련 펌프의 내진 및 내환경검증을 위한 요건을 제시한다.

Subsection QV는 안전성 관련 밸브의 내진 및 내환경검증을 위한 요건을 제시한다.

ASME에 대응하는 국내 기술표준으로 KEPIC MFA (일반요건), MFB(능동펌프 조립품의 성능검증), MFC(능동밸브 조립품의 성능검증)이 적용된다.

**3. 기기검증 수행절차**

기기검증은 시험계획 단계, 시험수행 단계, 승인단계의 3단계로 구성된다. 그림 1은 단계별 기기검증 수행절차를 나타내며, 각 단계별 상세 수행내용은 다음과 같다.



Fig. 1 Flowchart of equipment qualification

**3.1 시험계획 단계**

시험계획 단계에서는 첫번째로 대상 발전소의 기술규격이 요구하는 환경조건 및 적용 기술표준을 검토한다.

두번째로 확인된 조건에 따라 원자력안전재단의 인증을 받은 기관에 시험을 의뢰한다. 이때 반드시 원자력안전법에 따라 한수원 혹은 해당 발주처에 성능검증 계약신고를 수행해야 한다.

세번째로 기기검증 절차서를 작성한 후 설계사에 제출하여 승인을 득해야 한다.

**3.2 시험수행 단계**

시험 수행은 시험인수, 성능시험, 노파시험, 사고모의 시험, 최종검사의 순으로 진행되며 각 항목별 수행 업무는 다음과 같다.

**3.2.1 인수검사**

시험기관은 시험 전 시편에 대한 인수검사를 수행하며, 이때 기기검증 절차서 상에 언급된 시험 대상 기기와 시험 시편과의 일치성(제작사, 모델 등)을 확인하고 시편의 손상 여부 및 조립상태 등을 육안으로 점검한다. 대표적인 인수검사 항목은 다음과 같다.

- 시험품의 구성이 설계도면과 일치하는가?
- 구성 모듈의 부품이 부품 목록과 일치하는가?
- 부품은 느슨함 없이 견고하게 체결되어 있는가?
- 시스템 내부의 접지는 적합하게 되어 있는가?
- 외함의 손상이 없는가?

**3.2.2 성능시험**

성능시험은 제작사가 사전에 정의한 시험항목 및 방법, 허용기준에 따라 시험기관이 수행하며, 시험결과물은 이후 각 시험 단계마다 수행되는 성능시험의 기준데이터로 활용된다.

**3.2.3 노파시험**

노파시험은 설계수명 기간 중 정상환경에 의한 노화영향을 모의하고, 이 기간 기기의 성능을 입증하기 위한 시험이다. 또한 사고모의 시험 전 시편에 대한 정상 운전 중 노화영향을 반영함으로써 원전의 설계수명 종료 시점에 발생할 수 있는 사고에 대한 검증이 가능하다.

노파시험에는 방사선 노파, 열 노파, 기계적 노파,

진동 노화가 있으며 시험 또는 해석에 의해 수행된다. 단 시험 대상기기가 가혹한 환경에 설치되는 경우에는 시험에 의한 검증이 요구되며, 온화한 환경에 설치되는 경우 방사선 및 열 노화에 대해 해석에 의한 검증이 가능하다. 가혹한 환경과 온화한 환경에 대한 정의는 다음과 같다.

- 가혹한 환경(Harsh Environment)
  - 발전소의 설계기준사건(DBE) 및 사고 후의 운전 조건으로 인해 심각한 환경인자의 변화가 발생하는 환경
  - 원자로건물 내부의 LOCA/MSLB/HELB 환경
  - 원자로건물 외부의 MSLB/HELB 환경
  - 총 방사선량(TID) > 1.0E+02Gy에 노출되는 지역 (전자부품의 경우 > 1.0E+01Gy)
- 온화한 환경(Mild Environment)
  - 발전소의 정상 및 비정상 운전 조건으로 인해 환경조건의 심각한 변화가 예상되지 않는 환경
  - 설계기준사건(DBE) 환경에 노출되지 않는 원자로건물 외부 (이 경우 설계기준사건은 지진에 국한됨)
  - 총 방사선량(TID) ≤ 1.0E+02Gy에 노출되는 지역 (전자부품의 경우 ≤ 1.0E+01Gy)

### 3.2.4 사고모의 시험

사고모의 시험은 발전소의 설계기준사건(DBE) 및 사고 후 운전조건에서의 기기 성능을 입증하기 위한 시험이며, 대표적 사고환경으로 지진 및 LOCA, MSLB, HELB가 있다.

설계기준사건 시험 중 LOCA, MSLB, HELB 시험은 고온, 고압, 포화증기 및 화학살수의 상황을 모의할 수 있는 별도의 시험용 챔버(Chamber)가 요구되고 내진시험의 경우에도 지진으로 인한 진동을 모의할 수 있는 별도의 진동대 설비가 요구된다.

### 3.2.5 최종검사

시험이 종료된 후 인수검사와 동일한 수준의 육안 검사 및 성능시험을 수행하여 허용기준 만족여부를 판정하고 만족할 경우 시험을 종료한다.

### 3.3 승인단계

시험기관은 최종적으로 검증시험에 통과한 기기

에 대해 기기검증 보고서를 작성하고, 제작사는 내용 확인 후 설계사에 제출하여 검토 및 승인을 득한다. 설계사에 의해 보고서가 승인되면 대상기기에 대한 제작 및 공급이 가능하다.

## 4. 내진검증 수행절차

### 4.1 상세절차

내진검증(Seismic Qualification)은 운전 중 발생할 수 있는 운전기준지진(OBE)와 안전정지지진(SSE) 상황에서 구조 건전성 및 안전성 관련 기능을 유지할 수 있음을 입증하는데 목적이 있다. 그림 2는 내진검증 수행 흐름도이며, 각 단계별 상세 절차는 다음과 같다.

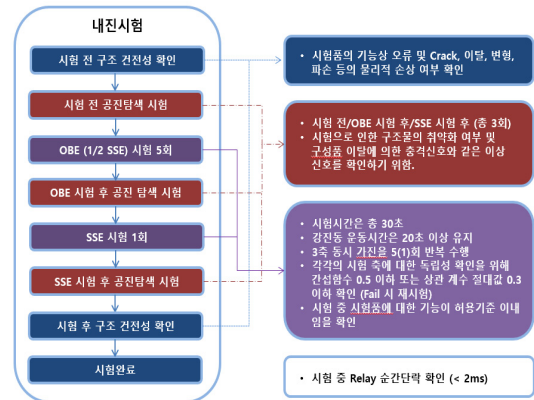


Fig. 2 Flowchart of seismic qualification

### 4.1.1 시편설치 및 구조적 건전성 확인

시험 시편을 실제 현장설치 시 조건(ex. 고정용 볼트, 고정 토크 값 등)과 동일하게 진동대에 장착하고, 가속도계는 설치된 시편의 시험 방향과 동일하게 부착한다.

시험 전 시편에 대한 구성품 및 구조물의 균열, 이타, 변형, 파손 등의 물리적 손상 및 기능상 오류가 없는지 확인한다.

### 4.1.2 공진탐색 시험

시험 가진의 입력신호는 정현파 스윕(Sine Sweep) 신호로 하고 시험 주파수 범위는 1Hz ~ 50Hz 까지 0.2g의 가속도 진폭으로 분당 2옥타프 스윕율로 시험한다. 시험 시 가진 방향은 3축(X, Y, Z)을 독립적으로 한 축씩 시험한다.

공진탐색 시험의 목적은 시편의 공진 특성과 시험으로 인한 구조물의 취약화 여부 및 구성품 이탈에 의한 충격신호와 같은 이상신호를 확인하는데 있다. OBE 시험 전 공진탐색 시험 결과는 이후 각 시험 단계(OBE 및 SSE 시험 후)마다 수행되는 공진탐색 시험의 기준 데이터로 사용된다.

또한 공진탐색 시험 결과는 시험응답스펙트럼(TRS)가 요구응답스펙트럼(RRS)를 포락해야 하는 저주파 범위를 결정하는데 이용되며, 5Hz 미만에서 공진 응답 현상이 존재하지 않음이 입증되는 경우 3.5Hz 이상부터 요구응답스펙트럼(RRS)를 포락하더라도 만족하는 것으로 평가한다.

그림3은 실제 시험응답스펙트럼(TRS ; 청색실선) 결과이며, 저 진동수 영역인 2.7Hz 미만에서 요구응답스펙트럼(RRS ; 흑색실선)을 포락하지 못하나, 5Hz 미만에서 공진 응답 현상이 존재하지 않는 것으로 확인되어 만족하는 것으로 평가되었다. 이러한 현상은 요구응답스펙트럼(RRS)이 저 진동수 영역에서 높은 가속도 수준을 나타내는 경우 진동대가 매우 큰 변위를 줄 수 있어야 하나 진동대 성능의 한계 또는 물리적으로 구현이 불가능한 경우에 나타난다.

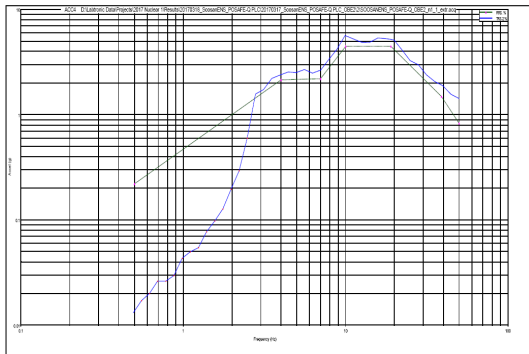


Fig. 3 Example of Test Response Spectrum(TRS)

4.1.3 OBE 시험

요구응답스펙트럼(RRS)는 당해 발전소의 감쇠율 2%인 적용대상 층응답스펙트럼(Floor Response Spectrum ; FRS)의 1/2을 모두 포괄하는 여유도 10%의 RRS를 적용한다. (설계 FRS는 SSE 기준으로 작성되며, OBE는 SSE의 1/2을 적용)

시험 응답 분석은 0.5Hz에서 50Hz로 하고 1/6 옥타브 대역폭으로 분석하여 적용한다. 시험시간은 총 30초에 강진동 운동 시간은 20초 이상 유지한다.

시험가진은 RRS에 대해 3축 동시 가진을 적용하여 5회 반복 수행하며, 시험응답스펙트럼(TRS)가 요구응답 스펙트럼(RRS)를 완전히 포락해야 한다. 또한 내진시험 후에 각각의 시험축에 대한 독립성을 확인하기 위해 간섭함수가 0.5이하 또는 상관계수의 절대값이 0.3이하 임을 확인한다.

시험 중 시편에 대한 기능 확인은 반드시 수행되어야 하며, 사전에 정의된 허용기준 만족여부를 확인해야 한다. 또한 시험 중 전기 접촉기(ex. Relay)에 대한 순간 단락(Chatter)의 허용기준 만족여부 역시 확인되어야 한다. 그림 4는 일반적인 OBE 요구응답스펙트럼(RRS)를 나타낸다.

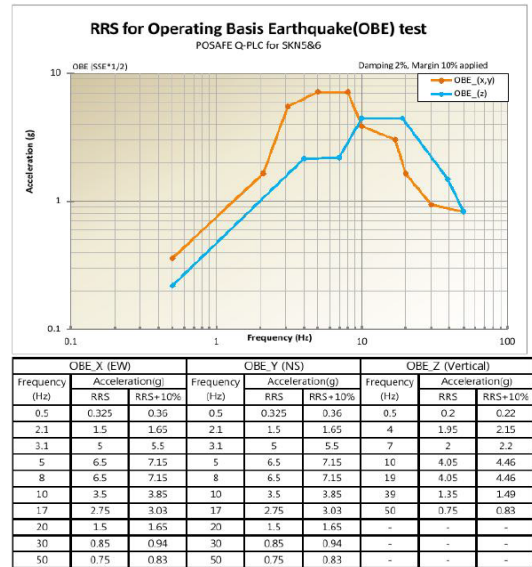


Fig. 4 Example of Operating Basis Earthquake(OBE)

4.1.4 SSE 시험

RRS는 당해 발전소의 감쇠율 3%인 적용대상 FRS를 모두 포괄하는 여유도 10%의 RRS를 적용한다. 시험가진은 RRS에 대해 3축 동시 가진을 적용하여 1회만 적용하며, 그 외 모든 시험 절차 및 판정기준은 OBE시험과 동일하다. 그림 5는 일반적인 SSE 요구응답스펙트럼(RRS)를 나타낸다.

4.1.5 최종검사

시험 종료 후 시편에 대한 구성품 및 구조물의 균열, 이탈, 변형, 파손 등의 물리적 손상이 없는지, 기능상 오류가 없는지 확인한다. 특히 변형에 취약한

구조물(ex. 배관)에 대한 시험 시 변형률 게이지 (Strain gage) 등을 이용하여 변형 정도를 정량적으로 측정할 수 있다.

내진검증이 수행되어야 한다. 이를 위해 현재 적용되고 있는 기기검증 관련 규제요건 및 기술표준과 절차에 대한 올바른 이해가 필요하다.

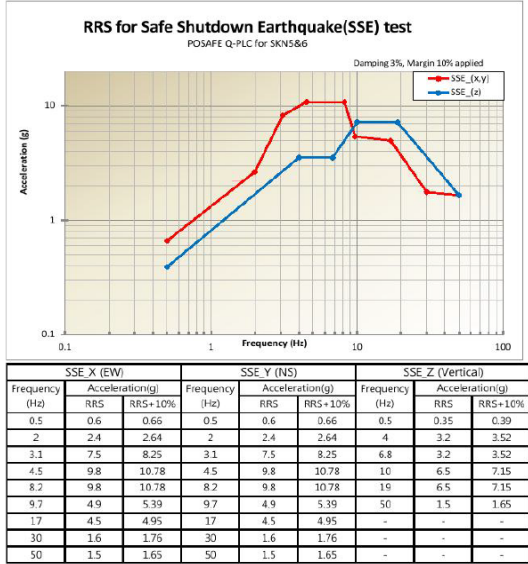


Fig. 5 Example of Safe Shutdown Earthquake(SSE)

### 5. 결 론

원전에 설치되는 안전등급설비의 경우 정상 및 사고환경(LOCA, MSLB, 지진 등) 하에서 주어진 안전 기능과 구조적 건전성을 입증하기 위한 내환경 및

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20171510102050)

### 참고문헌

- (1) Reg. Guide 1.89 Rev.1, 1984, "Environmental Qualification of Certain Electric Equipment Important to Safety for Nuclear Power Plants," U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.
- (2) Reg. Guide 1.100 Rev.2, 1988, "Seismic Qualification of Electric and Mechanical Equipment for Nuclear Power Plants," U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.
- (3) IEEE 323, 2003, "Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations," Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York.
- (4) IEEE 344, 2004, "Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations," Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York.