

원전 비상디젤 발전기 여자시스템 기기검증

이주현*, 임익현*, 류호선*, 신만수*, 허태영**
 한전 전력연구원*, 한국 신뢰성기술(주)**

Equipment qualification for Excitation Control System for Emergency Diesel Generator

Lee Joo-hyun*, Lim Ick-heon*, Ryu Ho-seon*, Shin Man-su, Huh Tae-yaung**
 KEPSCO KEPRI*, KoRTS**

Abstract - 원자력 발전소가 전력계통으로부터 분리되어 외부전원으로 발전소 내부의 주요 보조기기들을 운전할 수 없는 상황에서 비상디젤 발전기는 원자력발전소의 핵심 냉각펌프 등 전원을 공급하지 않으면 안 된다. 현재까지는 품질등급 Q-Class인 비상 발전기 여자시스템이 외국 기술에 전적으로 의존하여 공급되었는데 비상발전기가 차지하는 역할의 중요성으로 인한 품질활동 절차, 규제기관의 인허가 획득 등의 문제 때문에 비상 디젤발전기의 여자시스템이 현재까지 국산 연구개발이 이루어지지 않았다. 본 논문은 원전 비상디젤 발전기 여자시스템의 국산개발에 필요한 시스템의 기기 검증에 대한 내용을 기술하고자 한다.

1. 서 론

본 논문은 원자력 발전소에 설치, 운전되고 있는 비상전원 공급용 디젤발전기의 계자 권선에 직류전류를 공급하여 발전기 단자 전압을 일정하게 유지 또는 조정하는 기능을 가지고 있는 여자시스템에 대하여 원전 안전계통으로 인한 품질등급(Q)을 만족하기 위해 행해지는 제반 절차 중 기기검증에 대해 기술하였다. 또한 기기검증 수행 및 개발 결과가 규제기관의 인허가 요건을 만족하여 원전적용이 가능토록 안전등급(Q등급)의 기기검증체계, 방법 및 절차와 관련한 지침 및 인허가 요건을 철저히 분석하고 인허가 요건을 만족할 수 있도록 기기검증 요건들을 세분화 하여 본 과제를 수행하고 있다.

2. 본 론

2.1 기기검증의 정의

기기검증이란 안전관련 기기(Safety-Related Equipment)가 정상상태와 가상사고 조건 중이거나, 사고 후에도 그 기능을 충분히 수행할 수 있도록 설계 되어졌는지를 입증하고 보증하는 과정으로서 기기 검증은 크게 내환경 검증과 내진 검증으로 대별된다.

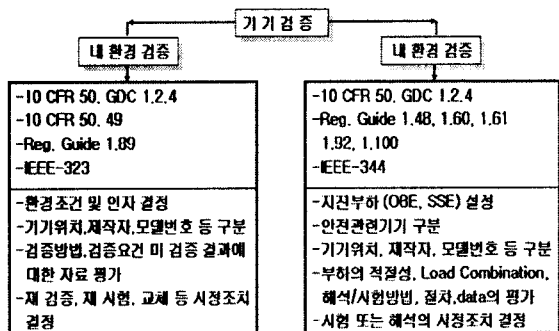
2.1.1 내환경검증(Environmental Qualification)

온도, 압력, 방사선, 습도등의 환경조건에 대한 기기의 검증을 의미한다.

2.1.1 내진검증(Seismic Qualification)

지진부하(Seismic Load)에 대해 구조적으로 건전성(Structure Integrity), 내 압력 건전성(Pressure Integrity), 운전성(Operability)에 대한 기기의 성능검증을 의미한다.

2.2 기기검증의 수행과정



<그림 1> 기기검증의 수행 과정

2.3 비상디젤 발전기 여자 시스템 기기검증 요건

2.3.1 내 환경 요건

2.3.1.1 전자기장예/무선주파수장예(EMI/RFI)

여자시스템의 모든 장비 및 장치는 IEEE 7.4.3.2 Annex C의 기술기준에 따라 EMI/RFI로부터 원칙적으로 간섭받지 않아야 하고, 또한 허용준위까지 자화율을 줄일 수 있도록 적절한 차폐 및 격리 장치를 설치하여야 하며, EMI의 확대를 최소화할 수 있도록 하여야 한다. 또한 전자기장예/무선주파수장예(EMI/RFI)검증 시험도 IEEE 7.4.3.2 Annex C의 기술기준에 따라 수행되어야 하며 여자시스템 설계 및 제작 시 EMI/RFI 발생 및 잠재원인을 최소화 하도록 한다.

2.3.1.2 정전기 방지(ESD)요건

여자시스템의 설계, 재료, 구조는 DOD-HDBK-263의 제4항, 제6항, 제7항에 언급된 기술기준에 따라 정전기방전(ESD)의 가능성을 줄이도록 선택하여야 하며, IEC 801-2에서 제시한 시험요건을 만족하도록 한다.

2.3.1.3 온도, 습도 요건

여자시스템의 온도, 습도, 등의 시험요건은 IEEE Std. 323의 요건을 만족하도록 설계되어야 하며, 타 원전의 비상디젤발전기설의 온도, 습도 요건을 고려하여 표1의 요건(압력, 온도, 습도, 산도, 방사선)을 만족하여야 한다.

<표 1> 환경시험 조건

구분	정상	사고시
압력	ATM	NA
온도	13~122°F	120°F
상대 습도	7~99%	70%
pH	7	7
방사선량(TID)	Negligible	NA

상기 환경 조건은 예비 조건이며, 실제 시험을 위한 조건은 추후 결정한다.

2.3.1.4 전기서지(SWC)요건

여자시스템은 IEEE C37.90.1 및 IEEE C62.41에 따라 전기서지(현장배선 및 전력공급)에 대해 시험 한다.

2.3.2 내진 요건

여자시스템의 모든 설비는 설계기준사고(Design Basis Event)가 진행되는 동안 또는 그 이후에도 당 설비가 수행해야 하는 안전기능을 수행할 수 있도록 한다.

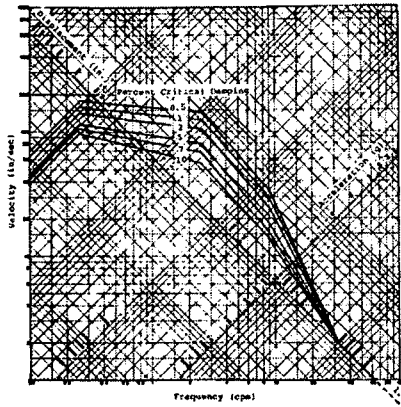
2.3.2.1 시험에 의한 내진검증

시험에 의한 내진검증 요건은 IEEE Std. 344의 요건을 기준으로 하며 여자시스템의 큐비클의 내진검증시험 방법은 IEEE Std. 420에 규정한 기준을 적용하여야 한다. 여자시스템의 내진시험은 IEEE Std. 323 및 344에 규정된 절차를 준수하는 검증 절차를 작성, 시행 한다.

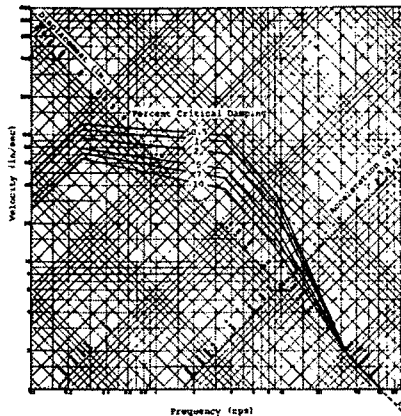
내진검증시험의 입력은 각 발전소 지진응답스펙트럼 중 적합한 스펙트럼을 적용하며 응답스펙트럼은 그림2 ~ 5의 Response Spectra Curve를 참조하며, 안전정지지진 및 운전기준지진에 대한 각 호기별 가속도는 표2를 적용한다.

<표 2> 안전정지지진 및 운전기준지진에 대한 각 호기별 가속도

호기	Horizontal		Vertical		비고
	SSE	OBE	SSE	OBE	
고리3.4	0.2	0.1	0.2	0.1	



〈그림 2〉 SSE Horizontal Response Spectra Curve



〈그림 3〉 SSE Vertical Response Spectra Curve

2.3.2.2 해석에 의한 기기 검증

운전 중인 Panel과 신규 제작되는 Panel을 일체형으로 설치하여야 하므로 일체형 거동에 대한 내진 설계가 되어야 하고, 이에 대한 해석을 수행하여야 한다. 해석은 Logical Assessment 또는 유효한 수학적 모델링에 의해 수행 한다.

현재 운전 중인 여자시스템 Panel의 교체되어야 하는 기기목록이 작성되어야 하며 교체 품 선정 시 Active Element가 아닌 Passive Element를 우선 고려하여 선정하고 불가피 한 경우 해석검증이 가능한 기기를 선정한다. 또한 기기 선정 시 해당 기기가 교체대상 기기와 동일기능 이상임을 확인 한다.

2.3.3 현장 설치 패널(Panel)의 기기검증 및 요건

현재 운전 중인 Local Panel의 일부 기기를 철거, 신규 기기로 대체하고, 신규 제작되는 Panel을 운전 중인 Panel과 일체형으로 설치하게 된다. 이를 가정할 경우 기기검증방법 및 요건을 검토 한다.

2.3.3.1 현장 패널의 일부 철거 및 신규기기로 설치 시

기기교체 시 Digital 기기 선정 및 하중, 위치 등을 고려한 해석을 수행하여야 하며, ESC 상세설계서, 구매 사양서에 포함되어야 하는 현장 설치 관련 제작 요건은 다음과 같다.

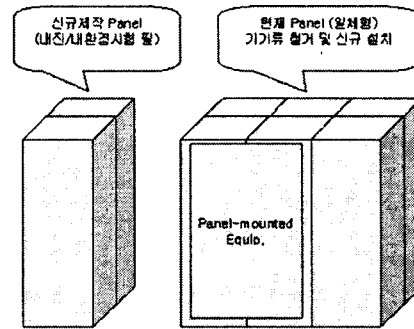
현재 운전 중인 여자시스템 패널의 교체되어야 하는 기기목록이 작성되어야 하며, 기기 선정 시 해당 기기가 교체 대상 기기와 동일 기능 이상임을 확인하여야 한다. 또한 기기검증을 위한 해석(Analysis)을 위해 다음의 자료를 제공하여야 한다.

- a. 교체 대상 기기 목록
- b. 선정 품 사양 (동일 기능 이상)
- c. Panel 상세도면 및 교체 전/후 기기 배치도
- d. 교체 전/후 하중 비교표

2.3.3.2 두 개의 패널(Panel)을 일체형으로 설치 시

일체형 거동에 대한 내진설계(볼팅 또는 용접 등)가 필요하며, 일체형 패널(Panel)의 해석(Analysis)으로 검증이 가능하다. 즉, 기존 운전 중인 Panel과, 신규 제작되는 Panel을 일체형으로 설계, 제작, 설치하게 되면 일체형 거동에 대한 내진설계 및 해석이 수행되어야 한다. 이를 위해 다음의 제작요건이 추가되어야 한다.

- a. 기기검증 및 현장설치 방법을 고려하여 Panel 설계는 내진 요건을 고려하여야 한다.
- b. 운전 중인 패널과, 신규 제작되는 패널을 일체형으로 설치하여야 하므로 일체형 거동에 대한 내진설계가 되어야 하고, 이에 대한 해석을 수행하여야 한다.



〈그림 4〉 운전 중인 패널과 신규 제작 패널

3. 결 론

비상디젤발전기 여자시스템과 같이 원전에서 사용할 설비를 개발하고자 할 때 가장 큰 어려움으로 생각하는 것이 제품의 품질보증과 이에 따른 기기의 검증일 것이다. 개발제품의 품질보증은 제품에 따라 각 회사의 적합한 품질보증 체계를 확립하고 기기성능 검증방안을 수립하여 연구개발을 수행하면 제품의 신뢰성을 확보할 수 있을 것이라 사료된다.

기기검증분야에서 많은 경험과 노하우를 가진 엔지니어들로부터 기기수준 및 부품수준에서의 기기검증에 대한 기초지식, 내진, 내환경, EMI/RFI, Firmware 확인 및 검증 등에 대한 전반적인 기술, 안전성분석 및 고장모드 영향분석 기술 등을 전수받고, 미국내 인허가 과정에서 문제가 되었던 사례 및 동향 파악, 기기검증계획서 및 보고서에 대한 검토를 통해 본 과제에서 개발되는 여자시스템의 현장적용을 성공적으로 수행할 예정이다.

본 논문은 원자력발전소 계측제어 기기인 비상디젤 발전기의 여자시스템의 현장적용을 위한 품질보증 중 기기검증에 대해 소개하였으며 이러한 절차 및 접근 방법이 다 안전관련 기기의 검증에도 도움이 될 것이라 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEEE Std. 323, 2003, IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations
- [2] IEEE Std. 344, 2004, IEEE Recommended Practices for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations.
- [3] IEEE Std. 420, 2001, IEEE Standard for the Design and Qualification of Class 1E Control Boards, Panels, and Racks Used in Nuclear Power Generating Stations
- [4] IEEE Std. C62.41, 1991, IEEE Recommended Practice on Surge Voltage in Low-Voltage AC Power Circuits
- [5] IEEE C37.90.1, 2002, IEEE Standard for Surge Withstand Capability(SWC) Tests for Relays and Relay Systems Associated with Electric Power Apparatus
- [6] ANSI/IEEE-ANS-7-4.3.2, 1993, "Application Criteria for Programmable Digital Computer System in Safety Systems of Nuclear Power Generating Stations."