

영광원자력발전소 3, 4호기 핵증기 공급계통(NSSS)의 종합건전성 감시계통의 신기술 소개

o 1) 장 우 현* 2) 최 찬 덕* 3) 김 성 호* 4) 한 상 준*

(A Presentation in the Nuclear Steam Supply System Integrity Monitoring
System (NIMS) for Yonggwang Nuclear Power Plant, Units 3 & 4)

(Woo Hyun Jang, Chan Duk Choi, Sung Ho Kim, Sang Joon Han)

요 약

원자력발전소 1차계통 내의 건전성 감시를 위한 설비로는 음향누설 감시계통 (Acoustic Leak Monitoring System; ALMS), 금속과편 감시계통(Loose Parts Monitoring System; LPMS) 및 원자로내 부구조물 진동감시계통 (Internals Vibration Monitoring System; IVMS)등이 있다. 현재, 국내의 여러 원전에는 이들중 일부 계통들이 선택적으로 설치되어 운전중이며, 영광 3, 4호기에서는

국내 최초로 이들 3개의 계통을 종합한 핵증기공급계통 건전성감시계통 (Nuclear Steam Supply System Integrity Monitoring System; NIMS)을 설계하였다. 특히, 영광 3, 4호기 NIMS에서는 각 계통에 의해 감지된 1차계통 내의 이상상태를 하나의 분석컴퓨터 (Analysis Computer)를 사용하여 해석하는 종합결함 탐지해석 기법을 도입하였다.

1. 서 론

1.1 배경 : 일반적으로 원전을 구성하는 주요 기기들은 운전수명이 약 40년

* 한국원자력연구소, 정희원

이상 되는데, 이에 따라, 1) 1차계통 압력경계 내의 균열 또는 누설, 2) 기기 내부구조물 부품파손 및 금속파편에 의한 타기기 손상, 3) 원자로 내부구조물간 체결력 저하 또는 상실등, 발전소의 구조적 건전성과 성능유지에 막대한 영향을 줄 수 있는 결함이 발생할 수가 있다. 그러므로, 이와같은 결함을 조기에 탐지하고 정확하게 진단하면 알맞는 후속 조치를 취할 수 있으며, 발전소의 안전성 및 경제성 제고는 물론 검사 및 보수시 방사선 피폭 및 작업 시간을 줄일 수 있게 되며, 귀중한 인명의 손상을 예방할 수 있다. 따라서, 영광 3,4호기와 그 이후로 설계되는 원전에 대하여 원자로의 건전성을 종합적으로 감시하는 계통을 적용하고자 한다.

1.2 영광 원전 3,4호기의 NIMS는 핵증기공급계통의 특정부분의 물리적인 건전성을 감시하며 다음과 같은 3개의 부계통 (ALMS, IVMS & LPMS)으로 구성되어 있다. (그림 1. 참조)

- 음향누설 감시계통 (Acoustic Leak Monitoring System; ALMS)
- 금속파편 감시계통 (Loose Parts Monitoring System; LPMS)
- 원자로 내부구조물 감시계통 (Internals Vibration Monitoring System;

IVMS)

1) 음향누설 감시계통은 1차압력경계의 특정 기기나 특정 위치에서의 누설상태 및 균열의 초기상태를 감지하며, 가압기 안전밸브 (Pressurizer Safety Valve)의 열림 및 닫힘상태를 감지하여 운전원에게 경보를 제공한다. ALMS의 구성과 Channel 수는 다음과 같다.

- 감지기 (Sensor) 19 Ch.
- 전치증폭기 (Preamplifiers) 19 Ch.
- 실효치계산기/경보설정치 모듈 (RMS Calculator/Setpoint Module) 19 Ch.

2) 금속파편 감시계통은 1차압력경계 및 증기발생기 안의 금속파편의 존재 여부를 감시하고, 금속파편의 위치 및 특성에 관련된 정보를 제공한다. LPMS의 구성과 Channel 수는 다음과 같다.

- 감지기 12 Ch.
- 전치증폭기 12 Ch.
- 신호처리기 12 Ch.
- 실효치계산기/경보기 12 Ch.
- 과도사건기록계/과형판별컴퓨터 1 Ch.
- 제어모듈 1 Ch.

3) 원자로 내부구조물 진동감시계통은 노심지지통 및 노심연료 집합체의 움직임을 감시하여 변화에 대한 원인을 분석할 수 있는 진단정보를 제공한다. 이 계통의 구성과 Channel 수는 다음과 같다.

- 광격리 송/수신기쌍 (Optical Isolator Receiver/Transmitter Pairs) 12 Ch.
- 다중채널스위치 모듈 (Multi-channel Switching Module) 1 Ch.
- 신호처리기 4 Ch.
- 4) 공룡기기
 - 경보캐비넷 (Alarm Unit Cabinet) 1
 - 분석컴퓨터 캐비넷 (Analysis Unit Cabinet) 1
 - 분석컴퓨터 (Analysis Computer) 1
 - 다중회로 선택기 (Switching Module) 1
 - 컴퓨터 주변기기 (Computer Peripheral Devices) 1
 - 도선 및 연결기 (Cable & Connector)

2. 본론

2.0 주요설계 및 성능요건

2.1 음향누설 감시계통

1) Reg. Guide 1.45 (참고문헌 1) 요건에 따라서 1차압력 경계의 특정 기기나 특정 위치에서 누설의 상태를 감지하여 운전원에게 경보를 제공하며 균열의 초기상태를 감지한다.

2) NUREG 0737, Supplement 1, Item II D.3 (참고문헌 2)에 따라 가압기 안전밸브의 열림 및 닫힘 상태를 감지하여 운전원에게 경보를 제공한다.

3) 감도 (Sensitivity) : 전출력 상태시

감시되는 위치에서 최소한 0.01 gpm 정도의 누설량이 감시되어야 하며, 계통의 최소 정도 (Accuracy)는 0.1 gpm이어야 한다.

4) 동작 환경 : 가압기 안전밸브 상태 감시 채널은 냉각재 상실사고 (LOCA)나 주증기관 파단 (MSLB) 사고 등 안전밸브가 열릴수 있는 모든 조건에서 작동되어야 하며, 안전정지 지진 (SSE) 시에도 물리적, 기능적 건전성이 보장되어야 한다.

2.2 금속파편 감시계통

1) Reg. Guide 1.133, Rev.01(참고문헌 3) 요건에 따라 1차압력 경계 및 증기발생기 내의 금속파편의 존재여부를 감시하며, 금속파편의 위치 및 특성에 관련된 진단정보를 제공한다.

2) 감도 : 질량이 0.25~30.0 lbm이고 최소 0.5 ft-lbf의 충격에너지를 가지며 감지기에서 3 ft 이내에서 발생하는 금속파의 충격을 감지할 수 있어야 한다.

3) 실효치계산기/경보기 : 이 모듈은 NIMS 경보캐비넷에 위치하여 감지기로부터의 신호에 대한 실효값을 계산하고 이를 기본으로 하여 충격강도 (Impact Intensity)를 계산하고 표시하는 기능을 제공하고 있다.

4) 다음 조건에서는 경보모듈의 경보를

금지한다.

- 수동 우회(Bypass Switch) : 각 채널에 대해 우회스위치가 있고, 경보가 우회될 때마다 경보캐비닛의 채널별 표시등이 점등된다.

- 제어봉 집합체 동작 : 제어봉 집합체(CEA) 동작시 제어봉구동장치 제어계통의 해당 점점 신호가 닫히며, 이때에는 경보가 금지된다.

- Tier 1 및 Tier 2 : 과형판별 컴퓨터 및 분석컴퓨터에 의해 경보설정치를 초과하는 입력신호가 금속과편에 의한 것이 아님이 판명되면 각각 Tier 1 및 Tier 2의 경보금지 신호가 발생한다.

2.3 원자로 내부구조물 감시계통(IVMS)

1) 노심지지통 및 노심연료집합체의 움직임과 그 변화를 감시하며, 이 변화에 대한 원인을 분석할수 있는 진단정보를 제공한다.

2) 노외 핵계측계통(ENFMS)의 격리된 선형출력안전부 채널(Safety Channel)의 출력을 입력신호로 사용한다.

3) 다중채널 IVMS 스위칭 모듈 : 이 모듈의 기능은 12개의 신호중 4개의 신호 선택하여 신호처리기를 거쳐서 분석컴퓨터를 입력시킨다.

4) 신호처리기 : 신호를 분석하기 위하여 직류성분을 먼저 제거하고, 교류 결합 성분은 매우 낮은 차단주파수를 가

진 고역여과기를 사용하여 처리되며, 처리된 신호는 차동증폭기에 의해 증폭되고, 이 증폭된 신호는 저역여과기를 사용하여 여과한다. IVMS는 0.2~50 Hz의 주파수 영역 내에서 1 Hz 이하의 주파수 변화를 감지하고 분석 할 수 있다.

2.4 공통기기의 설계요건

1) 경보캐비닛

- 위치 : 주제어실(Main Control Room)

- 크기 : 최대 48"(W)x36"(D)x60"(H)

- 내진설계 : 지진 발생시 외부 기기의 고장으로 인하여 내진 요건 1등급인 가압기 안전밸브 위치표시 채널이 기능적으로 손상되지 않도록 설계되어야 한다.

2) 분석컴퓨터 캐비닛

- 위치 : 주제어실

- 크기 : 최대 72"(W)x38"(D)x96"(H)

- 내장기기 : 분석컴퓨터, 다중채널스위치 모듈, LPMS 과도사건 기록계/과형판별 컴퓨터, 제어모듈

- 내진설계 : 특별히 요구되지 않음.

- 실시간(Real Time)으로 입력신호를 표시하고 주요신호 변수를 계산하며 설정치를 초과하면 경보를 발생한다.

3) 컴퓨터 소프트웨어 : On-Line 및 Off-Line의 On-Demand 진단 소프트웨어가 시간 및 주파수 영역에서의 다음과 같은 자료분석 기능이 주어진다.

- Amplitude Probability Density

- Power Spectral Density
- Cross Power Spectral Density
- Coherence
- Correlation
- Phase

설치가 완료되면서 수행하게 될 NIMS의 계통시험 및 발전소 시운전 과정을 통해 완성되고 검증된 소프트웨어의 운용을 중심으로 여기에서 다루지 못한 부분을 중심으로 다루고자 한다.

3. 결론

이상에서 기술한 바와 같이 영광 원자력발전소 3, 4호기에서는 기존의 발전소와는 달리 음향누설 감시계통 (ALMS) 금속파편 감시계통 (IVMS) 및 원자로 내부구조물 등 감시계통으로 이루어진 종합적인 핵증기공급계통 건전성 감시계통 (IVMS)이 갖추어지게 되었다. 그러나, 설비 이상으로 중요한 것은 운전원에게 원자로 냉각재 압력경계 내에서 발생한 이상상태에 대한 올바른 진단정보를 제공하여 운전원이 적절한 시정조치를 취하게 함으로써 발전소가 안전하게 운전되도록 하는 것이다. 그러므로, 이러한 기능을 수행하는데 알맞는 소프트웨어가 제공되어야 하고, 이를 근본적으로 이해하여 활용하는 것이 매우 중요하다. 영광 3, 4호기 NIMS에서는 이러한 소프트웨어가 종합적으로 보강된 것이 큰 특징이라고 하겠다. 본 논문에서는 영광 3, 4호기 NIMS의 하드웨어를 중심으로 소개하였으나 1993년경 본 설비의

4. 참고문헌

- 1) Regulatory Guide 1.45, Reactor Coolant Pressure Boundary Leakage Detection Systems, May 1973.
- 2) NUREG 0737, Supplement 1. Item II D.3, "Clarification of TMI Action Plan Requirements", November 1980.
- 3) Regulatory Guide 1.133, "Loose Parts Detection Program for the Primary System of Light-Water-Cooled Reactor", May 1981.

