2003 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

하나로 지진감시 분석시스템의 개발 및 내진특성 평가

Development and Seismic Evaluation of the Seismic Monitoring Analysis System for HANARO

류정수, 윤두병, 김형규, 우종섭
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

하나로의 운전시작과 함께 하나로 부지에서 발생하는 지진감시를 위해 지진감시시스템이 사용되어 왔다. 이 시스템은 현장의 센서와 지진감시용 판넬로 구성되며, 아날로그 방식의 지진기록용 테이프를 사용하는 방식이다. 기존에 사용되었던 지진감시시스템은 지진신호에 대한 정밀한 분석을 수행할 수 있는 분석장치가 포함되어 있지 않다는 단점이 있었다. 따라서 센서를 제외한 아날로그 방식의 지진감시시스템을 디지털 방식의 지진감시 분석시스템(SMAS)으로 개선하고자 한다. 이를 위하여 지진감시 분석시스템 구성에 필요한 하드웨어를 새로 개발하였으며, 지진에 대한 정확하고 빠른 정보를 제공할 수 있는 지진감시 프로그램과 지진분석 프로그램을 개발하였다. 캐비닛을 비롯한 지진감시 분석시스템을 설치한 후, 설계 및 성능요건의 만족 여부를 평가하기 위하여 개발된 지진감시 분석시스템에 대한 현장성능시험(SAT)을 수행하였다. 현장성능시험 결과, 지진감시 분석시스템은 제작 기술시방서의 요건을 만족함을 확인할 수 있었다. 또한 지진감시 분석시스템 캐비닛의 구조건전성과 내진 특성을 평가하였다. 그 결과 지진감시 분석시스템은 지진하중을 견딜 수 있는 충분한 구조건전성을 가지고 있으며, 지진하중을 받은 후에도 모든 기능이 정상적으로 작동할 수 있음을 검증하였다. 개발된 지진감시 분석시스템은 하나로 계측기기실에 설치되어 하나로 부지에서 발생하는 지진에 대한 감시 및 분석에 활용되고 있다.

Abstract

Since the start of operation, the seismic monitoring system has been utilized for monitoring an earthquake at the HANARO site. The existing seismic monitoring system consists of field sensors and monitoring panel. The analog-type monitoring system with magnetic tape recorder is out-of-date model. In addition, the disadvantage of the existing system is that it does not include signal-analyzing equipment. Therefore, we have improved the analog seismic monitoring system except the field sensors into a new digital seismic monitoring analysis system(SMAS) that can monitor and analyze earthquake signals. To achieve this objective for HANARO, the digital type hardware of the SMAS has been developed. The seismic monitoring and analysis programs that can provide rapid and precise information for an earthquake were developed. After the installation of the SMAS, we carried out the site acceptance test (SAT) to confirm the functional capability of the newly developed system. The results of the SAT satisfy the requirements of the fabrication technical specifications. In addition, the seismic characteristics and structural integrity of the SMAS were evaluated. The results show that the cabinet of SMAS can withstand the effects of seismic loads and remain functional. This new SMAS is operating in the HANARO instrument room to acquire and analyze the signal of an earthquake.

1. 서 론

하나로 부지에서 발생하는 지진감시를 위해 사용되었던 기존의 지진감시시스템은 자기테이프를 사용하는 아날로그 방식의 시스템이다. 기존의 지진감시시스템은 현장 센서와 감시 판넬(panel)으로 구성된다. 현장 센서는 삼축 가속도계 3대, 지진트리거 1대 및 지진스위치 1대로 구성되어 있으며, 감시 판넬은 지진스위치 제어반, 삼축 시간이력 가속도계측 제어반, 자료 기록반 및 자료 재생반으로 구성되어 있다. 이러한 자기테이프 기록방식의 아날로그 시스템은 현장에 설치된 센서를 제외한 구성품의 대부분이 생산 중단되어, 감시 판넬을 구성하는 부품들에 대한 예비품 확보가 거의 불가능한 실정이다.

또한 하나로에는 지진분석장비가 갖추어져 있지 않아 지진분석장치를 보유한 한수원(주) 영광 1발의 협조를 받아 지진분석을 수행하여 왔다. 사용중 검사시에 원자력안전기술원으로부터 하나로도 자체적으로 지진신호를 분석할 수 있는 분석 장비를 확보하도록 권고 받은 바 있어 이에 대한 대책이 필요하게 되었다.

따라서 하나로에서는 구성품 생산중단으로 인하여 예비품을 확보하는데 요구되는 과다한 비용을 절감하고 기술의 국산화를 위한 목적으로 하나로 지진감시 분석시스템(HANARO Seismic Monitoring Analysis System)을 개발하기로 하였다.

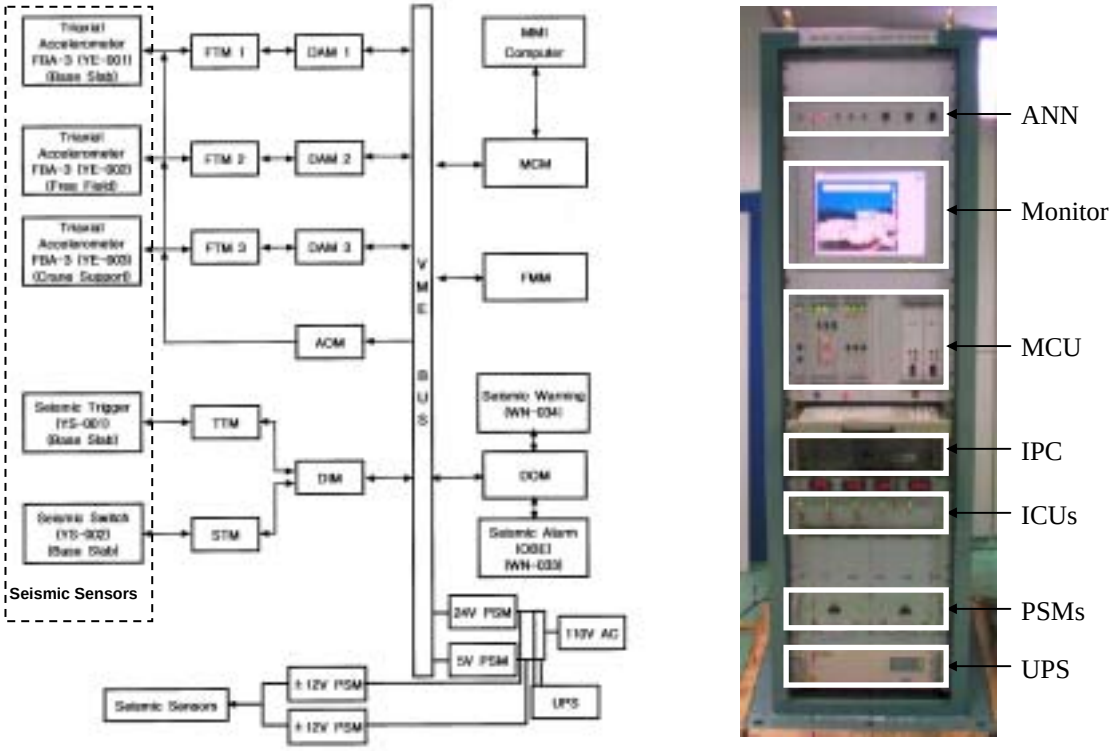
새로운 지진감시 분석시스템을 개발하기 위하여 우선 개념설계를 수행하였으며, 지진감시 분석시스템이 만족해야 하는 각종 요건[1~5]과 국내외의 지진감시시스템(영광 1발, 고리 1발 등)에 대한 조사 결과[6]를 기반으로, 지진감시 분석시스템이 갖추어야 할 세부기능, 기술규격을 선정하고 이에 따라 기술적 요건을 확정하였다[7]. 이들 기술요건을 토대로 디지털 방식의 지진감시 분석시스템 하드웨어를 개발하였으며, 지진신호에 대한 신속하고 정확한 정보를 제공할 수 있는 지진감시 및 지진분석 프로그램을 개발하였다[8]. 또한 지진감시 분석시스템의 성능을 검증하기 위하여 현장성능시험을 수행하였으며, 지진하중을 견딜 수 있도록 지진감시 분석시스템의 내진특성과 구조건전성을 평가하였다[9].

2. 지진감시 분석시스템의 하드웨어 개발

그림 1은 지진감시 분석시스템의 구성도와 판넬의 구조를 나타내고 있다. 그림 1 (a)에서 볼 수 있듯이 지진감시 분석시스템은 지진신호를 계측하기 위해 현장에 설치된 센서와, 지진신호를 저장하고 이를 분석하기 위한 모듈들로 구성된 지진감시 분석시스템 판넬(panel)로 구성된다.

하나로에 발생하는 지진신호를 감지하고, 계측하기 위하여 현장에 설치된 센서는 지진트리거(seismic trigger) 1대, 지진스위치(seismic switch) 1대 및 삼축 가속도계 3대로 구성되어 있다. 지진트리거는 원자로실 기초슬래브(base slab)에 설치되어 있으며, 지진트리거에 OBE(Operating Basis Earthquake)의 1/10이상의 지진이 감지될 경우, 제어실 보조계통 제어반에 지진경보(WN-34)가 발생하며, 원자로실 기초슬래브, 원자로건물 동쪽의 자유지표면(free field), 원자로실 크레인지지대(crane support)에 위치한 삼축 가속도계로부터 입력되는 지진신호가 지진감시 분석시스템에 저장된다. 또한 원자로실 기초슬래브에 설치된 지진

스위치에 OBE 이상의 지진신호가 감지되면, 제어실 보조계통 제어반에 지진발생경보(WN-33)가 동작하며, 3대의 삼축 가속도계로부터 입력되는 지진신호가 지진감시 분석시스템에 저장된다.



(a) 지진감시 분석시스템의 구성도 (b) 판넬 구성

그림 1 지진감시 분석시스템의 구성도와 판넬 구성

그림 1(b)는 지진감시 분석시스템 판넬의 구성을 나타내고 있으며, 판넬은 주제어 유니트(MCU), 경보 판넬(ANN), 인터페이스 유니트(ICU), 전원공급장치, 산업용 컴퓨터(IPC) 및 모니터(LCD) 등으로 구성된다.

주제어 유니트(MCU)는 VME bus를 통하여 시스템을 제어하며, 컴퓨터와 통신을 수행하는 주제어 모듈(MCM), 현장 센서의 신호를 취득하여 디지털신호로 변환하고 지진 이벤트(event)를 검출하는 자료취득 모듈(DAM), 지진트리거 및 지진스위치의 상태를 감시하고 경보를 발생시키는 디지털 입/출력 모듈(DIM/DOM), 시스템의 건전성 확인을 위한 모의신호를 출력하는 아날로그 출력 모듈(AOM), 취득한 지진신호를 저장하기 위한 플래시 메모리 모듈(FMM) 등으로 구성되어 있다. 자료취득 모듈은 주제어 모듈에 이상이 발생한 경우에도 독자적으로 지진신호를 검출하고 저장할 수 있는 기능을 갖고 있으며, 취득된 지진신호는 플래시 메모리 모듈 및 분석 컴퓨터(IPC)에도 저장되므로, 지진으로 인해 전원이 상실된 경우에도 데이터를 잃지 않도록 설계되어 있다.

경보 판넬(ANN)은 현재 시스템의 각종 정보를 LED로 표시해 주며, 지진발생에 의한 경보 발생시 부저(buzzer)를 이용하여 경보상태를 알리는 역할을 하도록 개발되었다.

인터페이스 유니트(ICU)는 삼축 가속도계와 연결되어 지진신호를 자료취득 모듈(DAM)로 전달하는 FTM, 지진트리거 신호를 디지털 입력 모듈(DIM)로 전달하는 TTM, 지진스위치 신호를 디지털 입력 모듈(DIM)로 전달하는 STM으로 구성된다.

전원공급장치는 전원공급 모듈(PSM)과 무정전 전원장치(UPS)로 구성되며, 현장에 설치된 센서와 캐비닛에 설치된 모듈에 전원을 공급하는 역할을 한다. 전원공급 모듈은 무정전 전원장치의 전원을 사용하는 PSM #1 및 PSM #3, 주 전원을 사용하는 PSM #2 및 PSM #4로 구성되어 있다. 이들 전원공급장치는 서로 병렬로 연결되어 있어 시스템이 정상운전일 경우에는 서로 부하를 분담하며, 이중 하나에 고장이 발생하면 정상인 전원공급장치에서 모든 부하를 부담하도록 설계되었다. 또한 무정전 전원장치는 캐비닛의 상시전원과 병렬로 연결되어 있으며, 불시정전이 발생할 경우에도 최소한 30분이상 지진감시 분석시스템을 운전할 수 있도록 구성되었다.

산업용 컴퓨터(IPC)에는 지진감시 및 지진분석 프로그램이 설치되어 있으며, 주제어 모듈(MCM)과 데이터를 송수신하여 지진신호를 저장, 분석한다. 모니터(LCD)는 터치스크린 기능을 갖추고 있으며, 이를 통해 편리한 사용자 인터페이스를 제공하도록 개발되었다.

3. 지진감시 분석시스템의 소프트웨어 개발

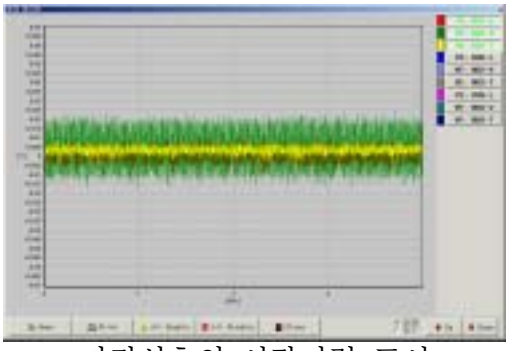
3.1 지진감시 프로그램의 개발

지진감시 분석시스템 하드웨어를 운영하여 하나로 부지에 발생하는 지진을 실시간(real-time)으로 감시하기 위해 지진감시 프로그램을 개발하였다. 개발된 지진감시 프로그램은 그래픽 사용자 인터페이스 (GUI) 환경을 구현하도록 개발되었으며, 사용자가 쉽게 지진감시 분석시스템을 조작 및 설정하고, 신속하게 지진에 대한 정보를 파악할 수 있도록 구성되어 있다. 그림 2는 개발된 지진감시 프로그램의 초기화면을 나타내고 있다.

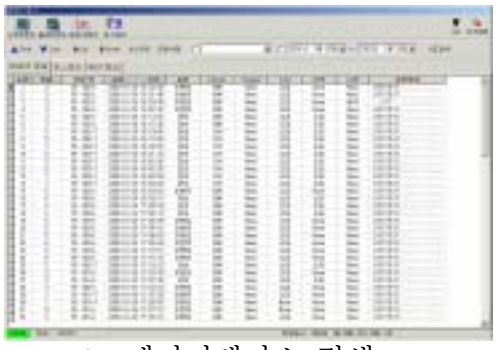
그림 2 지진감시 프로그램의 초기화면

초기화면은 크게 4개의 영역으로 구성되어 있으며, 관리자 및 운전자가 기능을 선택하기 위해서 사용하는 버튼 영역, 프로그램의 운영상태를 표시하는 상태바 영역, 하나로의 전경과 지진을 측정하기 위해 설치된 센서의 위치를 표시한 이미지 영역, 그리고 각 채널로부터 입력된 지진신호 값을 실시간으로 표시하는 배경데이터 영역으로 구분된다.

그림 3은 지진감시 프로그램의 주요기능을 나타내고 있다. 그림 3 (a)에서 볼 수 있듯이 지진감시 프로그램은 삼축 가속도계로부터 취득되는 지진신호의 시간이력을 표시하는 기능을 갖고 있다. 그림 3 (b)는 데이터베이스 검색 화면을 나타내고 있으며, 현재까지 취득된 지진신호를 쉽고 빠르게 검색 및 관리할 수 있도록 구성되어 있다.



(a) 지진신호의 시간이력 표시



(b) 데이터베이스 검색

(c) 시스템 설정

(d) 자기진단

그림 3 지진감시 프로그램의 주요기능

그림 3 (c)는 지진감시 프로그램의 시스템 설정화면을 나타내며, 이를 이용하여 지진감시 분석시스템의 설정을 쉽고 빠르게 할 수 있도록 하였다. 또한 지진감시 프로그램은 자기진단 기능을 갖추고 있으며, 주제어 유니트(MCU)를 구성하는 모듈들의 작동상태를 실시간으로 확인할 수 있도록 개발되었다(그림 3 (d)).

3.2 지진분석 프로그램의 개발

원자력 발전소나 연구용 원자로에 운전기준지진(Operating Basis Earthquake)을 초과하는 지진이 발생할 경우에는 측정 기록된 지진응답 분석자료를 설계자료와 비교, 평가하여 지진발생 후에도 원자로 시설을 안전하게 계속 운전할 수 있는가를 판단하여야 하며, 원

자로 건물과 건물 내부에 설치된 안전관련 기기들의 안전성을 평가하고, 이에 대한 보고서를 상부기관 및 규제기관에 제출하도록 되어 있다.

지진분석 프로그램은 지진발생 후 지진감시 분석시스템을 이용하여 취득한 지진신호에 대한 신속하고 정확한 분석을 수행할 수 있도록 개발되었다. 그림 4는 취득한 지진신호에 대한 시간이력 분석 및 주파수응답 분석을 수행할 수 있는 지진분석 프로그램의 주화면을 나타내고 있다.

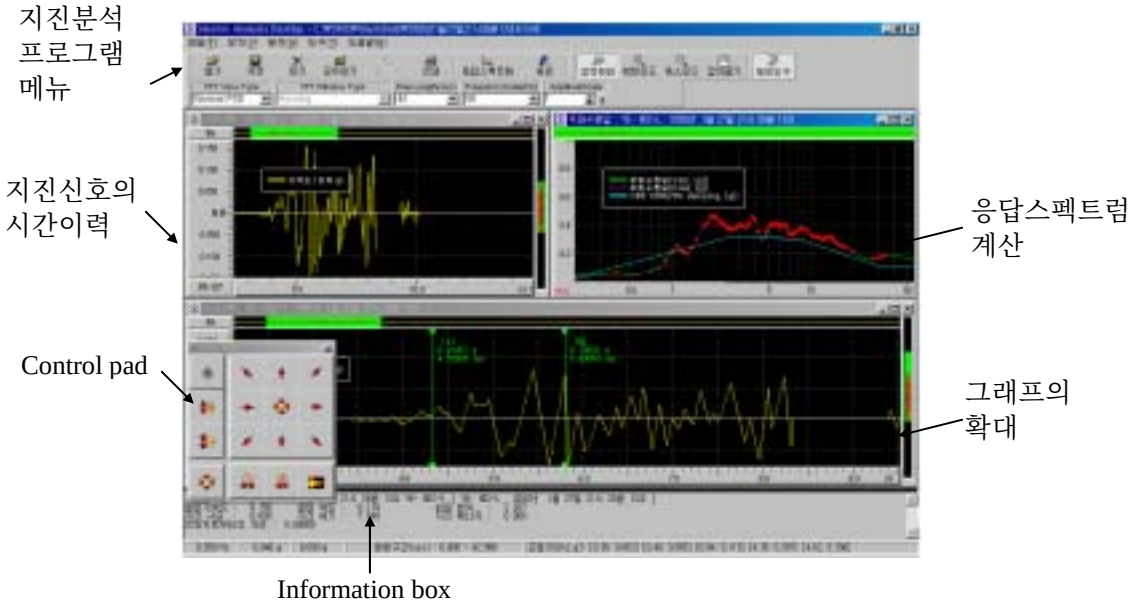
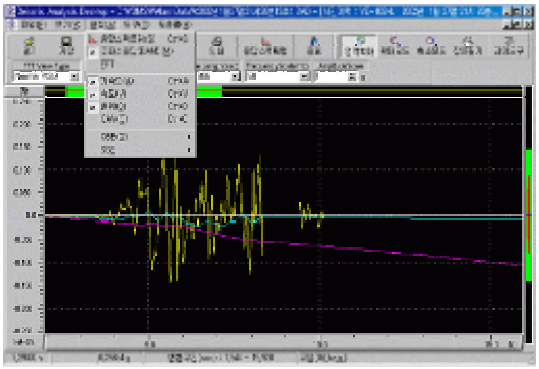
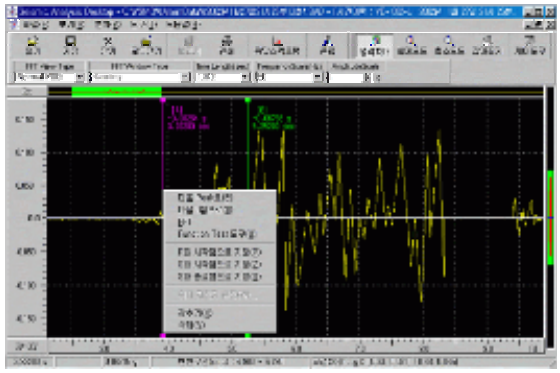


그림 4 지진분석 프로그램의 분석화면

지진분석 프로그램은 그림 5에서 볼 수 있듯이 지진 이벤트 발생시의 삼축 가속도계로부터 취득한 가속도 데이터를 시간 영역(time domain)상에서 표시하며 가속도 데이터의 적분에 의해 구해지는 속도, 변위 데이터도 함께 표시할 수 있다. 또한 그림 5 (b)에서 볼 수 있듯이 사용자가 시간이력 신호에 대한 분석을 쉽게 할 수 있도록 위치지정자를 이용한 분석 기능, 그래프의 확대, 축소 및 스크롤 기능 등의 다양한 기능을 갖고 있다.



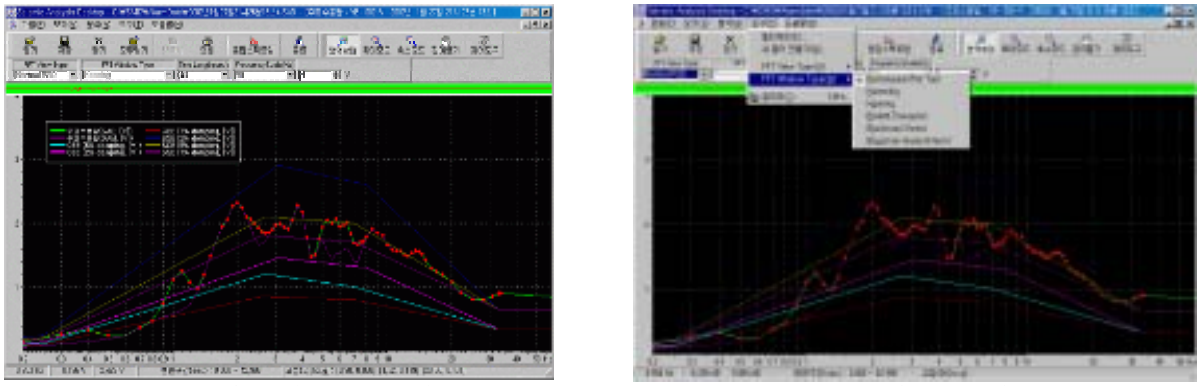
(a) 지진신호의 시간이력 표시



(b) 시간이력 분석

그림 5 지진분석 프로그램의 시간이력 분석

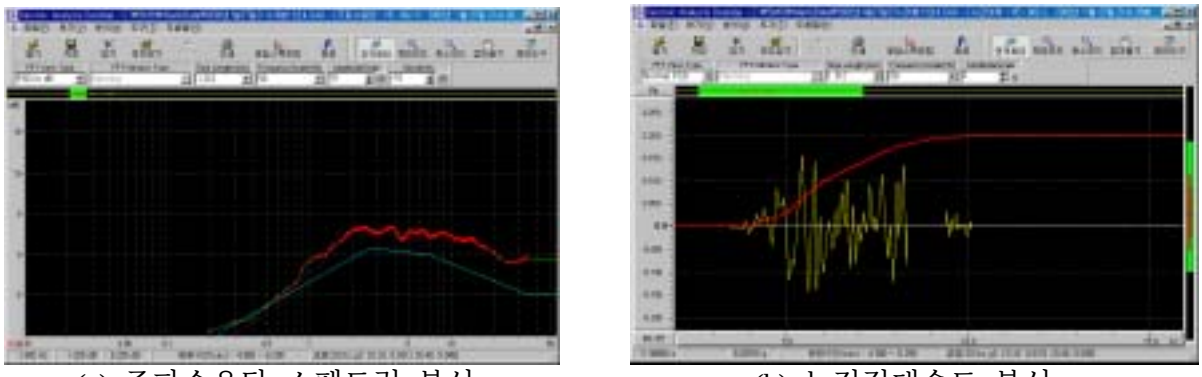
지진분석 프로그램은 지진신호에 대한 주파수 응답스펙트럼 분석, 필터링(Filtering) 및 FFT 분석을 수행할 수 있는 기능을 갖고 있다. 그림 6 (a)는 주파수응답 스펙트럼 분석의 예를 나타내며 지진분석 프로그램은 세가지 감쇠값에 해당하는 OBE 및 SSE 설계 응답스펙트럼과 지진신호의 응답스펙트럼을 함께 표시할 수 있는 기능을 갖고 있다. 그림 6 (b)는 FFT 분석의 예를 나타내며, 지진분석 프로그램은 지진신호에 대한 다양한 필터링(Filtering) 및 FFT 분석을 수행할 수 있도록 개발되었다.



(a) 응답스펙트럼 분석 (b) FFT용 윈도우 설정

그림 6 지진분석 프로그램의 주파수 분석

Reg. Guide 1.166[3]에 의하면 지진이 발생한 이후 자유지표면에서 취득한 지진신호의 주파수응답 스펙트럼(Frequency Response Spectrum)과 누적절대속도(Cumulative Absolute Velocity)가 OBE 설정치를 초과하면 원자로를 정지하여야 한다고 규정하고 있다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 지진분석 프로그램에는 응답스펙트럼과 누적절대속도(Cumulative Absolute Velocity)를 계산할 수 있는 기능이 포함되어 있으며, 이를 이용하여 하나로 부지에 발생하는 지진에 대한 영향 평가를 다양하고 심도있게 수행할 수 있을 것으로 예상된다.



(a) 주파수응답 스펙트럼 분석 (b) 누적절대속도 분석

그림 7 지진분석 프로그램의 응답스펙트럼 및 누적절대속도 분석기능

4. 현장성능시험(SAT, Site Acceptance Test)

지진감시 분석시스템을 계측기기실에 설치한 후 현장성능시험을 수행하였다. 현장성능시험은 전원공급장치, 주제어 유니트(MCU)에 설치되어 있는 각각의 모듈과 경보 판넬(ANN)에 대한 하드웨어 성능시험, 분석컴퓨터의 운영환경 및 분석 프로그램의 건전성 확인, 그리고 현장 계측센서를 연결한 후 현장 계측센서의 신호를 취득하고 분석하는 시스템 통합 시험 등으로 분류된다.

전원공급장치에 대한 시험을 통하여 전원공급장치의 출력전압 및 전원 공급능력을 점검하였으며, 정전시에도 무정전 전원장치가 본 시스템을 안정적으로 운전할 수 있음을 확인하였다.

MCM에 설치된 VME 모듈들에 대한 성능시험을 통하여 각각의 모듈에 대한 영점조정과 건전성 시험을 수행하였으며, 아날로그 출력 모듈(AOM)에서 출력되는 출력한 교정용 신호가 각 모듈에 정확히 취득 및 기록되는지를 확인하였다. 또한 CMF(Common Mode Fail) 시험을 통하여 주제어 모듈(MCM)에 이상이 발생한 경우에도 자료취득 모듈(DAM)이 독자적으로 지진신호를 감시하고 자체 메모리에 저장할 수 있음을 확인하였다.

분석용 MMI 컴퓨터의 동작시험에서는 MMI 컴퓨터의 운영환경 및 지진감시 및 지진분석 프로그램의 기능을 점검하였다. 즉 지진감시 프로그램을 구성하는 각 메뉴, 즉 운영환경, 모드변경, 시스템정보, 데이터로그 등에서 설정된 기능들이 정상적으로 이루어지는가를 점검하였으며, 모든 기능이 정상적으로 동작함을 확인하였다. 또한 지진분석 프로그램의 기능시험을 통해 프로그램의 지진신호 분석기능(시간이력 분석, 주파수응답 스펙트럼 분석, FFT 분석, 누적절대속도 분석)이 정상적으로 동작하는지를 확인하였다.

지진감시 분석시스템의 하드웨어, 소프트웨어 및 분석 컴퓨터에 대한 건전성 확인시험 후, 현장에 설치된 지진 센서들을 지진감시 분석시스템에 연결하여 시스템 통합시험을 실시하였다. 통합시험은 지진센서로부터 입력되는 데이터가 정상적으로 취득되어 분석컴퓨터 화면에 표시되는지 알아보기 위한 시험으로 결과는 만족되었다.

최종적으로 현장성능시험 결과 모든 시험요건이 만족되어, 지진감시 분석시스템이 설계시방대로 제작되었고, 모든 기능이 정상적으로 작동함을 확인할 수 있었다. 따라서 이들 시험결과를 기반으로 하나로 운영절차서(월간점검, 채널기능시험, 채널교정시험, 운전절차)를 개정하였으며, 현재 운전에 적용하고 있다.

5. 캐비닛의 내진특성과 구조건전성 평가

지진감시 분석시스템의 캐비닛은 내진범주 I급으로 분류되며, SSE(Safe Shutdown Earthquake) 지진에 대해서도 지진감시 및 분석기능을 유지하고, 구조적건전성을 유지할 수 있어야 한다[4,5]. 따라서 개발된 지진감시 분석시스템 캐비닛에 대한 내진특성과 구조건전성을 평가하였다[9].

5.1 지진감시 분석시스템 캐비닛의 내진특성

지진감시 분석시스템의 주제어 유니트, 경보 판넬, 산업용 컴퓨터, 및 전원공급장치 등은 모두 캐비닛의 내부에 설치된다. 하나로 지진감시 분석시스템의 캐비닛은 영광/고리 1발의 지진감시시스템의 캐비닛을 제작한 동일 제작사에서 제작하였으며, 영광/고리 1발의 지진감시 캐비닛은 내진시험[6] 결과가 만족되어 현장에 설치되어 있다. 하나로 지진감시 분석시스템의 캐비닛은 영광 1발의 캐비닛 구조와 가능한 한 동일하게 개발되었다. 따라서 하나로 캐비닛에 대한 내진특성을 평가하기 위하여 하나로 지진감시 분석시스템 캐비닛의 RRS(Required Response Spectra)를 영광/고리 1발의 지진감시 캐비닛의 TRS(Test Response Spectra) 및 RRS와 비교하였다.

영광 1발 및 고리 1발에 설치된 지진감시 캐비닛의 내진시험을 검토한 결과, OBE 시험의 경우 하나로의 수평 및 수직 RRS들이 모두 영광/고리 1발의 RRS 또는 TRS 아래에 있으므로, 영광/고리 1발의 OBE에 대한 내진시험 결과를 하나로 캐비닛에 적용하여도 충분한 것으로 판단된다. SSE 시험의 경우를 분석해 보면 하나로의 SSE 수직방향 RRS가 영광/고리 1발의 RRS 또는 TRS 아래에 있고, 수평방향의 경우에도 하나로 수평 RRS들이 대부분 영광/고리 1발의 RRS 또는 TRS 아래에 있으나 주파수 대역 5 Hz ~ 8 Hz 사이에서 약간 벗어나고 있음을 확인하였다. 따라서 약간 벗어나고 있는 주파수 대역이 미치는 영향을 파악하고자 영광 1발, 고리 1발 및 하나로에 설치된 지진감시 캐비닛 구조에 대한 고유진동수 측정시험[10]을 직접 수행하였다.

고유진동수 측정시험 결과 하나로 지진감시 분석시스템 캐비닛에 대한 수평 두 방향의 제 1차 고유진동수가 각각 13.25 Hz 및 33.75 Hz이며, 이는 내진시험시 사용된 영광 1발/고리 1발 SSE의 수평 RRS를 약간 벗어나고 있는 5 Hz ~ 8 Hz 사이 주파수 대역에서 멀리 떨어져 있어 지진 응답에는 큰 영향이 없음을 알 수 있었다. 따라서 하나로 지진감시 분석시스템 캐비닛 구조는 영광 1발 지진감시시스템의 캐비닛을 기반으로 제작하였으므로 영광/고리 1발 지진감시시스템 캐비닛의 내진시험 결과를 같이 적용할 수 있다고 판단된다.

표 1 모달시험을 통하여 구한 지진감시시스템 캐비닛의 고유진동수(단위: Hz)

장소 \ 방향	Side-to-Side	Front-to-Back	설치방법	캐비닛 높이
영광 1발	11.00	32.75	용접	2350mm
고리 1발	13.75	36.00	용접	2350mm
하나로	13.25	33.75	앵커볼트	2000mm

5.2 캐비닛 하단 용접부에 대한 구조건전성 평가

하나로 지진감시 분석시스템 캐비닛은 바닥 콘크리트에 앵커볼트로 고정되어 있어 어떠한 지진하중에서도 구조적으로 건전해야 한다. 그림 8과 같이 캐비닛 하단부와 하부철판(base plate)이 연결되는 위치에는 캐비닛 앞면과 뒷면에 각각 10mm 필렛용접으로 길이

600mm와 양쪽에 150mm 연속 용접되고, 캐비닛 좌우 측면 중간 4곳에 5mm 필렛용접으로 길이 60mm 단속 용접되어 있다.

캐비닛(600*2000*800)을 구성하는 각각의 부품에 대한 형상(W*H*D), 중량 및 위치를 파악하여 캐비닛의 무게중심을 산정할 수 있었다. 지진감시 분석시스템 캐비닛은 계측기기실에 위치하고 있으므로 원자로건물 3층에 해당되는 층응답스펙트럼을 사용하였다. 보수적으로 용접 구조물에 적용하는 기준으로 Reg. Guide 1.61[11]에 따라 OBE는 2%, SSE는 4% 감쇠값에 대한 층응답스펙트럼을 적용하였다. 또한 등가정적해석을 수행하기 위하여 층응답스펙트럼의 최대값에 1.5배를 취하여 지진하중을 산정하였다. 지진하중과 운전조건에 따른 하중조합 결과로부터 운전조건 B의 하중이 감쇠값의 영향으로 운전조건 C보다 더 큰 값을 보이므로 운전조건 B가 지배적임을 알 수 있다. 따라서 운전조건 B의 3방향 힘과 모멘트를 사용하여 캐비닛 하단 용접부의 인장, 휨, 전단 및 비틀림 응력을 구할 수 있었다. 캐비닛 하단 용접부에서 최대 응력이 12.7 MPa로 산정되었으며, 이 값은 허용응력 209 MPa 보다 훨씬 작으므로 캐비닛 하단 용접부는 구조적으로 건전하다고 판단된다.

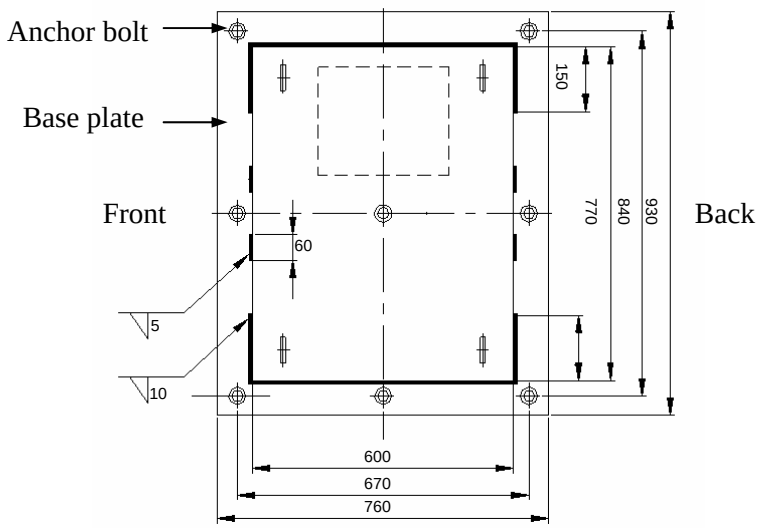


그림 8 캐비닛 하단의 용접부와 앵커볼트

5.3 캐비닛 앵커볼트에 대한 구조건전성 평가

지진감시 분석시스템 캐비닛의 설치 위치(계측기기실)에는 매입된 철판(embedded plate)이 설치되지 않았으므로 용접으로 고정할 수가 없다. 따라서 Base Plate(22t)를 앞의 5.2절에서와 같이 캐비닛 하단부에 용접한 후, 8개의 앵커 볼트를 사용하여 최종적으로 고정하였다.

사용된 앵커볼트는 HILTI사 HSL M16/25, ISO 8.8 GRADE STEEL로서 8개가 콘크리트에 고정된다. 앵커 길이는 148 mm, 구멍깊이는 125 mm이다. 한 개의 앵커 볼트가 받을 수 있는 허용 안전하중은 콘크리트의 강도의 영향, 앵커볼트 삽입 깊이, 앵커간 간격 및 콘크리트 모서리 길이 등을 고려하여 HILTI사[12]에서 추천하는 저항으로 계산하면 허용 인

발력이 20.2 kN이 되며, 허용 전단력은 23.2 kN이 된다. 운전조건 B에 대한 하중(힘과 모멘트)을 앵커볼트가 견뎌내야 하므로 이들 하중들로부터 앵커 볼트가 받는 인장력과 전단력을 산정하였다. 한 개의 앵커 볼트가 받을 수 있는 조합된 최대 인장력은 13.5 kN, 최대 전단력은 4.7 kN로 산정되었으며, 이 값들은 허용값보다 작아 구조적으로 건전함을 알 수 있었다.

6. 결 론

하나로 부지에 발생하는 지진에 대한 효율적인 감시 및 신속하고 정확한 분석을 위하여 기존의 아날로그 방식의 지진감시시스템을 개선하였다. 이를 위하여 디지털 방식의 지진감시 분석시스템 하드웨어를 새로 개발하였으며, 지진신호에 대한 신속하고 정확한 정보를 제공할 수 있는 지진감시 및 지진분석 프로그램을 개발하였다. 개발된 지진감시 분석시스템의 성능 검증을 위하여 현장성능시험을 수행하였으며, 지진감시 분석시스템이 설계요건에 따라 제작되어 모든 기능이 정상적으로 작동함을 확인할 수 있었다. 또한 지진감시 분석시스템 캐비닛의 내진특성과 구조건전성을 평가하여 지진하중에 대해 구조적으로 건전함을 확인하였다. 지진감시 분석시스템은 계측기기실에 설치되어 하나로 지진신호 취득 및 분석을 위하여 현재 운전 중에 있다. 하나로에 지진이 발생하면 현장 계측기의 신호를 취득하여 실시간으로 분석, 평가, 저장하는 것이 가능하여 운전원이 운전중인 원자로의 정지여부를 쉽고 빠르게 판단할 수 있어 효과적으로 대처할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

[1] “하나로 안전성 분석 보고서,” 제 1권 3장, 기술보고서, KAERI/TR-701/96, 한국원자력연구소, 1996.

[2] U.S. Atomic Energy Commission, “Nuclear Power Plant Instrumentation for Earthquakes (Reg. Guide 1.12),” Rev. 2, 1997.3.

[3] U.S. Atomic Energy Commission, “Pre-Earthquake Planning and Immediate Nuclear Power Plant Operator Post Earthquake Actions (Reg. Guide 1.166),” 1997.3.

[4] U.S. Atomic Energy Commission, “Seismic Qualification of Electric and Mechanical Equipment for Nuclear Power Plants (Reg. Guide 1.100),” 1988.6.

[5] IEEE Std 344-1987, “IEEE Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations” 1987.

[6] SAEHAN Engineering & Qualification Co., Ltd., “Dynamic Qualification for Seismic Monitoring System Manufactured by WOORIGISOOL Co., Ltd. for KORI NPP, Unit 2 and YONGGWANG NPP, Units 1&2,” 2000. 3.

[7] 류정수, 김형규, “하나로 지진감시 및 분석시스템 제작 기술시방서,” 기술보고서 KAERI/TR-1961/2001, 한국원자력연구소, 2001.

[8] 류정수, 윤두병, 김형규, “하나로 지진감시 분석시스템의 운전 및 정비 지침서,” 기술보고서, KAERI/TR-2568/2003, 한국원자력연구소, 2003.

[9] 류정수, 윤두병, “하나로 지진감시 분석시스템 캐비닛의 내진특성 및 구조건전성 평가,” 기술보고서, KAERI/TR-2524/2003, 한국원자력연구소, 2003.

[10] D. J. Ewins, *Modal Testing*: *Theory and Practice*, Research Studies Press, Letchworth, England, 1984.

[11] U.S. Atomic Energy Commission, “Damping Values for seismic Design of Nuclear Power Plants (Reg. Guide 1.16),” 1973. 10.

[12] HILTI Inc., *Fastening Technology Manual*, pp. 33-35, 2001.