

## 중성자 신호이용 원자로 내부 구조물 감시시스템 구성

박 종범\*, 김 종봉\*, 박 진호\*\*  
\*한양여자대학, \*\*한국원자력연구소

### Composition of Diagnostic System for Reactor Internal Structures Using Neutron Noise

Jong-Beom Park\*, Jong-Bong Kim\*, Young-Hwa Kim\*\*  
\*Hanyang Women's College, \*\*KEARI

**Abstract** - The Reactor internal structures which consist of many complex components are subjected to flow-induced vibration due to high temperature and pressure in Reactor coolant system. The above flow-induced vibration causes degradation of structural integrity of the Reactor and may result in losing mechanical binding component which might impact other equipment and component or cause flow blockage. It is important to analyze reactor noise signal for the early detection of potential problem or failure in order to diagnosis reactor integrity in the point of view of safety and plant economics. Detailed composition of diagnostic system reactor internal structures using neutron noise(RIDS).

#### 1. 서 론

원자로 잡음이란 원자로의 정상상태 출력 운전중 원자로 계통의 제어 및 감시 시스템으로부터 출력되는 신호의 시간평균치에 수반되는 변동성분을 말한다. 이러한 변동 성분에는 일반적으로 원자로 계통의 핵적, 열수력적 그리고 구조동력학적인 정보가 포함되어 있다. 따라서 원자로 잡음신호를 통계적으로 처리하여, 시간 및 주파수 영역에서 적절한 분석을 수행함으로써 원자로 계통의 이상상태를 감시하고 진단할 수가 있다. 이러한 제반 분석활동을 원자로잡음해석이라고 부른다. 현재 원자로 발전소는 예방정비를 강화하는 추세에 있으며, 계측장비의 국산화와 더불어 개발된 알고리즘 및 신호분석 기술의 적용, 개선을 통하여 중성자 신호이용 원자로 내부 구조물 감시시스템이 개발되어야 할 것이며, 국내의 관련기술 수준은 신호취득 및 신호처리 기술은 확보되어 있고 결합진단 기초기술도 확보되어 있다. 중성자 잡음신호를 이용한 원자로 내부구조물 진단기술은 아직 국내에서는 생소한 분야이며, 국내연구소의 꾸준한 관심과 국제공동 연구 등으로 인하여 신호처리 및 분석기술이 양호한 수준으로 올라섰다. 그러나 선진국 수준까지 다가서기 위해서는 결합증상에 대한 연구, 진단기술의 고도화 및 현장데이터의 지속적인 수집이 필요하다. 국내 원전에는 격리기 및 Signal Conditioner가 설치되어 있는 발전소에 설치하여 모니터링만 하고 있으며, 이설비는 진단과 관련된 알고리즘이 탑재되지 않았으며 신호처리 분석 기법의 개선, 사용의 용이성 등 하드웨어 및 소프트웨어의 개선이 필요하다. 본 논문에서는 현재 개발되고 있는 중성자 신호이용 원자로 내부 구조물 감시시스템의 개요와 구성, 향후 전망 등을 살펴보고자 하겠다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 시스템 개요

발전소는 서론에서 설명한 원자로잡음해석을 통하여 내부구조물의 건전성을 확인하고 발전소 유지보수에 참조한다. 따라서 중성자 신호이용 원자로 내부구조물 감시 시스템(이하 RIDS: Reactor Internals Diagnosis System 이라 칭함)은 노의 중성자의 잡음신호를 이용하여 원자로의 내부 진동 및 건전성을 판단하기 위한 장비이며, 이 장비는 여러 장치로 구성되어있으며 그림1과 같다.

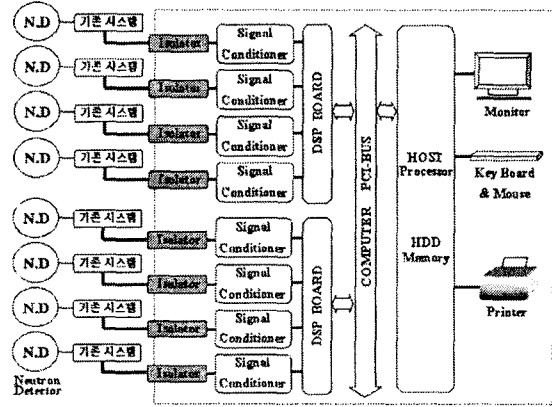


그림 1. 시스템 구성

##### 2.2 하드웨어 구성

RIDS 하드웨어 구성은 산업용컴퓨터에 잡음신호 데이터를 수신하는 DSP 보드가 PCI Slot에 장착된다. 그림2에 나타난 바와 같이 진단 장치는 주프로세서, 디지털 신호처리 보드, 신호 조정 보드 및 신호 격리기로 크게 4부분으로 나누어진다.

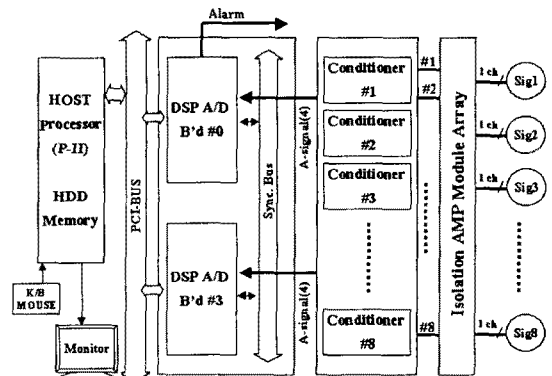


그림 2. 하드웨어 구성도

이러한 장치의 부품은 산업용 컴퓨터에 장착이 되며 주 프로세서와 디지털 신호 처리 보드와는 PCI Interface를 통하여 데이터를 주고받는다. 디지털 신호 처리 보드는 총 2개가 본 진단 장치에 설치되며 하나의 디지털 신호 처리 보드는 4개의 입력신호를 처리한다. 디지털 신호처리 보드는 신호조정기와 커넥터를 통하여 데이터를 주고받는데 신호 조정 보드로부터는 측정된 아날로그 신호를 입력으로 받고 신호 조정 보드 구동에 필요한 설정치 등과 같은 제어신호를 출력으로 신호 조정 보드에 가한다. 디지털 신호 처리 보드와 신호 조정 보드 사이에 있는 화살표 선은 각 디지털 신호 처리 보드간에 주고받는 신호를 나타내고 있다.

#### 가. 디지털 신호처리보드(DSP) 구성

RIDS DSP 보드는 Host PC의 Slot에 장착되는 카드 형태의 보드로서 총 2장으로 구성되어 있으며, 각 보드마다 4채널씩으로 구성되어 있고 시스템 전체적으로는 8채널을 담당하며 기능적으로 한 신호를 분석하기에 알맞은 형태로 가공한 Conditioner 보드로부터 신호를 입력으로 받는다. 이 신호는 DSP 보드 내부에서 1, 2, 4, 8, 16까지의 증폭을 할 수 있도록 설계되어 있고 기본적으로는 ADC(Analog to Digital Converter)에 공급되고 ADC(AD976A, Analog Device사)에서 16Bit의 Digital Data로 변환되어 응용프로그램의 기본 Data로 활용되게 구성하였다. 이 기본 Data는 DSP의 제어 로직과 래치에 의해 Local Memory에 저장되고 이 Local Memory에 저장된 내용을 DSP에서 분석하고 분석한 결과를 Host PC로 출력하여 화면에 구성된 결과를 가지고 목적에 맞는지의 여부를 판단 할 수 있게 구성하였으며, 그림 3은 DSP의 블록 다이어그램을 나타내고 있다.

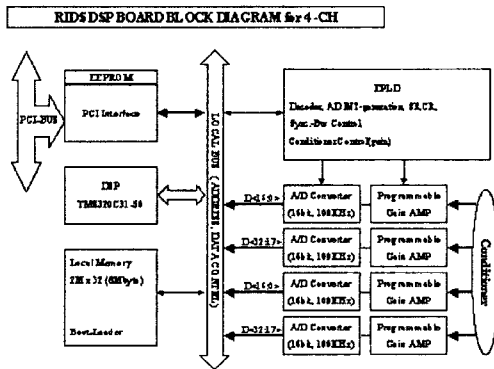


그림 3. DSP 블록 다이어그램

#### 나. PCI Interface 구성

PCI는 Peripheral Component Interface의 약자로 PCI-MG에서 개발한 버스방식으로 고속 다변화하는 주변회로의 접근을 위한 32Bit 병렬버스방식으로 초당 최대 132Mbyte의 Data를 전송할 수 있는 능력을 가지고 있으며 구성된 DSP 보드는 이 PCI-Bus를 사용하기 위해 전용 Interface Chip인 PLX Tech.사의 PCI9054 Chipset을 사용하여 Main 보드의 CPU와 Data를 주고받는다. 이 Chip의 Clock 속도는 Local Interface를 위해 50Mhz의 OSC를 사용하고 PCI Interface는 33Mhz의 Clock을 사용하여 구성하였다. PCI-9054 Chip은 외부 EEPROM(Electric Erasable Programmable Read Only Memory)을 가지고 최초 기동 시 내부 레지스터로 그 내용을 읽어들이어 자기 자신을 초기화하고 Main PC의 PCI Control에 응답하며, 동작전원은 DC+3.3V로 동작하고 외부의 입출력 신호에 대해서는 3.3V, 5V의 신호를 모두 만족하도록 구성하였다. Host-PC의 Data를 받아 DSP로 전달하

고 DSP 보드의 Data를 Host-PC의 주프로그램으로 전달하는 중요한 역할을 수행한다.

#### 다. DSP 및 주변회로

고속의 Data 처리를 위해 TI(Texas Instruments)사의 TMS320C31-60을 채택하여 PCI 및 Local Data 처리를 위해 32Bit Bus와 24개의 주소를 이용, FFT를 비롯한 응용 처리를 고속으로 구현할 수 있게 구성하였으며, 또한 DSP Chip이 이 보드의 Main으로 모든 제어 및 상태 관리하고 응용프로그램을 수행하며 Host-PC와의 통신을 담당한다. DSP가 동작하기 위한 프로그램은 Host PC에서 DSP의 Local Memory에 저장하여 자체 RAM에서 동작하도록 설계되어 있으며 프로그램 수정 시 다시 재 저장하여 동작하도록 구현하였다. DSP는 모든 영역을 접근할 수 있고 필요에 따라 PLX내의 DMA를 이용하여 Block 전송을 할 수 있다. 주변의 Main EPLD(Enhanced Programmable Logic Device)를 두어 원하는 신호를 검출하고자 할 때 EPLD의 내부 회로를 이용하여 하드웨어적으로 검출하고 이를 보고 받는다. 또한 이들을 적절히 제어하여 AMP B'd의 이득값과 필터의 주파수성분을 선택할 수 있도록 구현하였다. DSP는 두가지 모드를 지원한다. 첫째 마이크로 컴퓨터모드는 외부의 프로그램 도움 없이 내부의 정해진 Sequence, Interrupt에 따라 스스로 Booting하는 모드로 직렬과 병렬통신으로 필요한 프로그램을 저장하여 동작하는 모드로 방식에 따라 몇 가지의 Interrupt에 의해 구분되어지며, 두번째 모드는 마이크로 프로세서모드 PCI를 통해 Local Memory의 000000h번지부터 DSP의 실행 File을 준비해 두고 필요 시 DSP를 RUN시키기 위한 Reset 신호를 발생시키면 DSP는 프로그램을 수행한다.

#### 라. 격리증폭기

격리증폭기 모듈은 기본적으로 이득이 1인, 안정된 선형 직류 증폭기의 기능을 수행하며, 개발한 격리증폭기는 이득이 4인 2단 증폭기이다. 입력연결은 저항 R9와 R10으로 구성된 1/4전압분할기를 거쳐 연결되어 있다. 따라서 0~10V의 입력신호는 증폭기에는 0~2.5V가 입력으로 공급되며 출력은 다시 4배가 되어 0~10V가 되며, 그림 4는 격리증폭기의 일부분을 나타내고 있다.

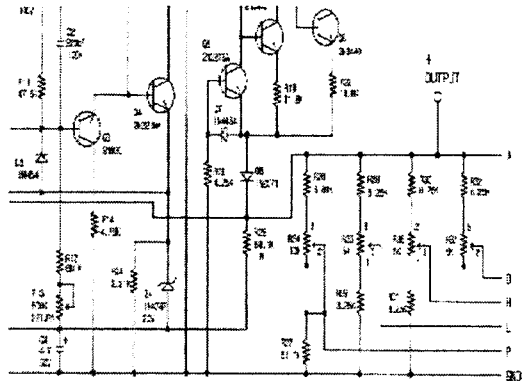


그림 4. 격리증폭기 Schematic

#### - 1단 증폭기

증폭기 A1은 직접회로(IC)로 된 전압 휠로어(Voltage Follower)이다. 입력전압은 A1의 비반전 입력단으로 공급되며 A1 출력은 A1 비반전 입력단으로 직접 되돌아간다. 이처럼 어떤 입력전압도 직접 A1 출력으로 다시 생성되며, 증폭기 A1은 1단 증폭(이득=1) 및 1단 격리기능을 제공한다. A1의 입력 임피던스는 약

10K ohm이며 출력 임피던스는 2.5ohm 이하이다. 이 단은 완충기로 사용된다. 비반전 입력은 과전압 발생시 입력회로의 손상을 방지하기 위해 제너다이오드로부터 공급되는  $\pm 6.8V$  및 다이오드 두 개에 의해 입력신호는  $\pm 6.8V$  이내로 클램프되며 저항 R39는 다이오드 클램프를 위한 안전(Ballast)저항 또는 전류제한 저항이다.

나. 2단 증폭기

트랜지스터 및 관련 회로소자들은 2단 증폭기를 형성하며 모두를 A2로 표시한다. A2는 기능적으로는 A1과 같으나 A2는 고장차단 회로가 포함되어 있으며 비교적 큰 전류를 취급할 수 있다. A2의 캐환회로에는 이득을 조절할 수 있도록 되어있다. A2의 이득은 설치시 4에 조정되어 있다. A2에는 또한 영점조정도 할 수 있다.

2.3 소프트웨어 구성

RIDS의 소프트웨어는 크게 DSP 구동프로그램, 인터페이스프로그램 및 응용프로그램으로 나뉜다. DSP 구동 프로그램은 주프로그램으로부터 시스템 구동 설정치들을 받아서 데이터 취득 및 연산을 수행하며, 인터페이스프로그램은 주프로그램이 구동되는 산업용 CPU와 DSP 사이에 있는 PCI Interface를 구동하기 위한 프로그램으로써 응용프로그램에서 구성한 설정치들을 주프로그램에서 진단 장치 시스템 내부에 있는 각종 장치에 전달하고 또한 이 장치들로부터 취득 및 분석된 신호를 주프로그램인 응용프로그램으로 전달하는 역할을 한다. 응용프로그램은 진단 장치를 작동하고 데이터를 취득하기 위한 시스템 설정치를 구성할 수 있는 기능과 취득한 신호를 저장하기 위한 데이터 베이스를 구축하고 있으며 또한 시스템 운전 중 발생하는 각종 경보이력을 저장할 수 있는 데이터 베이스를 갖추고 있다.

가. DSP 구동프로그램

진단장치의 디지털 신호처리 변환기를 구동하기 위한 프로그램 언어는 모두 어셈블리어로 작성하였으며, 전력용 변압기 진단장치에 사용되는 디지털 신호 처리 변환기는 TI사의 DSP인 TMSC31을 사용하였다. 따라서 DSP를 구동하기 위한 어셈블리 언어는 TI사에서 개발한 도구로 작성하였으며 DSP 구동프로그램을 작동하기 위하여 DSP보드의 메모리를 구현하여야 한다. 진단 장치는 총 2개의 DSP 보드가 장착되며 각 보드당 4MByte 용량의 메모리를 가지고 있으며, 이 중 1MByte(Local Memory #0)는 주로 프로그램 영역으로 사용되고 일부는 데이터 영역으로 사용되며 나머지 다른 3MByte(Local Memory #1~3)는 데이터 영역으로 사용된다.

나. 인터페이스프로그램

RIDS에서의 PCI Interface Communication은 Host Part의 운영 체제인 Windows 98위에 설치되는 Win32 Device Driver와 PCI API DLL에 의해 이루어진다

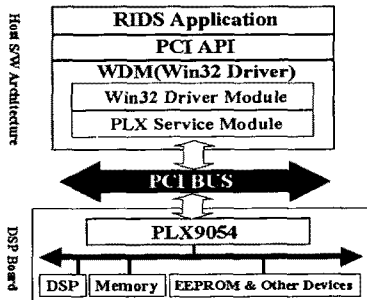


그림 5. 인터페이스 프로그램 구성

Win32 Device Driver와 PCI API DLL은 PCI Bus를 통해 PCI Device에 장착되는 PLX9054 PCI I/O

Accelerator와 상호 작용을 할 수 있도록 구성되어 있고, 그림5는 PCI Interface S/W의 전체적인 구성을 나타내고 있다. RIDS Application은 그림5에서 보는 바와 같이 PCI API DLL에서 제공하는 함수들을 이용하여 구성하고 Application에서 사용되는 PCI API DLL의 각 함수들은 Windows 98에 설치되어 있는 Win32 Device Driver를 사용하여 시스템에 설치되어 있는 DSP Board를 제어, 데이터 전송 등 상호 작용을 한다. 그리고 Win32 Device Driver의 구성은 기능에 따라 다시 Win32 Driver Module과 PLX Service Module로 구분할 수 있다.

다. 응용프로그램

응용프로그램은 운전자와 디바이스 시스템사이의 연계를 위한 프로그램으로써 이 프로그램을 통하여 운전자는 디바이스 시스템에 작업 내용 및 개시/정지 명령을 내릴 수 있으며 디바이스 시스템을 통하여 취득 및 연산한 데이터를 운전자에게 표시하고 필요한 데이터를 데이터 베이스에 저장하는 메뉴 구동 방식으로 구성하였다. 주 메뉴는 크게 5가지로 되어 있으며 그 내용은 [Setup], [Real-Time Display], [Number Signal Analysis], [Recorded Time Data Display], 및 [Database]이다. 그림6은 시스템 상태화면을 나타내고 있다.

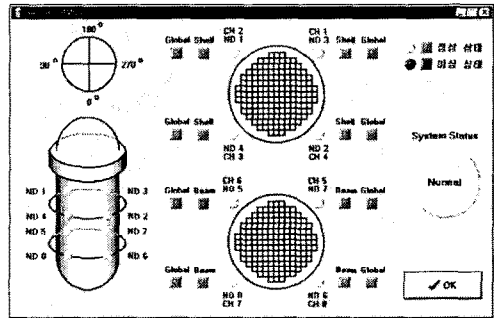


그림 6. 시스템 상태 화면

3. 결 론

개발되는 RIDS는 운전자에게 친숙함을 더하고 호환성을 높이기 위해 중앙처리장치와 신호 처리부의 데이터 통신은 일반적으로 사용되고 있는 PCI 방식으로 구현하였으며, 또한 GUI(Graphic User Interface) 클릭방식을 채택하여 운전자가 사용하기에 편리하도록 하였으며, 원자로 잡음분석 진단알고리즘은 진단기능의 초기단계인 모니터링 된 값이 운전범위를 벗어난 경우에는 경보를 발생하도록 구성하였다. 또한 주기적으로 자동으로 데이터를 일정기간 저장할 수 있게 하여 추이분석 등이 가능토록 구성하였다. 추후 개발되어야 할 것은 경보 발생 전·후 약 수분간의 Raw Data를 저장하는 기능을 추가하여 정보발생 원인분석을 다른 시스템으로도 분석이 가능하도록 하는 것이다.

(참 고 문 헌)

- (1) 박진호 외, "원자로 잡음을 이용한 결합진단 기술개발", KAERI/PR-1908/98, 한국원자력연구소
- (2) F. J. Sweeney, "Utility Guidelines for Reactor Noise Analysis", EPRI NP-4970, 1987.
- (3) 박종범 외, "중성자 신호이용 원자로 내부구조물 감시/진단시스템 개발", 중간보고서, 2000.08.
- (4) J. B. Park, et al., "Development of an on-line reactor internals vibration monitoring system (RIDS)", COMADEM, Vol 1, pp. 801-808, 2001.