

원자로 제어봉구동장치 제어시스템용 이벤트 기록 방법

Event Logging Method for Control Rod Control System

천종민*, 김춘경*, 조창희*, 정순현*, 남정한**

(Jong-Min Cheon, Choon-Kyung Kim, Soon-Hyun Jeong Chang-Hee Cho and Jeong-Han Nam)

* 한국전기연구원 계측제어 연구그룹(전화:(055)280-1449, 팩스:(055)280-1476, E-mail : jmcheon@keri.re.kr)

** 두산중공업(주) 기술연구원(전화:(055)278-3758, 팩스:(055)278-3758, E-mail : jhname85@doosanheavy.com)

Abstract : This paper is about the method by which Power Control Unit(PCU) of Control Rod Control System(CRCS) logs events in the system and the real-time monitoring display. This method enables the functions like the event logging of Control Rod Drive Mechanism(CRDM)/Power Cabinet, the off-line show of the event data logged and the on-line show by communication between the PCU and the monitoring display. Operators in a nuclear power plant must be able to grasp any possible abnormal states correctly. Because our newly designed system has a good ability to log and display the kinds, time, and the prior and posterior states of urgent or non-urgent events, the operators can judge, maintain and repair the abnormal event more easily.

Keywords : Control Rod Control System, Event Logging, Local Operator Module, Digital Signal Processor

I. 서론

원자력 발전소의 제어봉 구동장치 제어시스템(Control Rod Control System; CRCS)은 제어봉 집합체를 구동시키는 제어봉 구동장치(Control Rod Drive Mechanism; CRDM)들을 상부로부터의 명령을 만족하도록 제어하는 것이다. 중성자 흡수재로 만들어진 제어봉들이 원자로 내에서 상하 운동을 하면서 원자로 출력을 조절하므로 제어봉 구동장치에 대한 제어가 원자로 출력을 결정한다고 볼 수 있다. 비상시에는 CRCS가 CRDM에 공급되는 전력을 차단하여 제어봉들을 원자로 내부로 추락시켜서 원자로를 안전하게 정지시킨다[1,2,3]. 이밖에 한국전기연구원과 (주)두산중공업이 원전계측제어시스템개발사업을 수행하면서 새로이 개발한 CRCS는 기존 원전 계측제어시스템의 노후 설비와 복잡한 아날로그 회로들을 개선할 목적으로 디지털 시스템을 도입하여 효율성이나 간편성에서 개선을 하였다[4]. 개발된 시스템의 특징 중의 하나는 고장 등의 이벤트들에 대한 자체 감시, 진단 및 대처 기능을 강화한 것이다. 시스템의 비정상 상태를 의미하는 어떤 이벤트가 발생하였을 때에 이를 즉시 검출하여 해당 이벤트의 종류를 판단하고 그 상황을 기록하여 두며 운전원이 해당 이벤트를 잘 파악하고 대처할 수 있도록 설계하였다. 이를 위하여 CRCS 제어함 측에 실시간 감시 현시 장치를 설치하였고 CRCS 전력함의 전력제어기에서 발생 이벤트를 기록하여 현시 장치로 그 정보를 통신을 통해 전달하도록 하였다. 본 논문에서는 이러한 이벤트 기록 및 실시간 감시 현시 장치에 대한 원리 및 방법론적인 내용을 다루고 있다.

II. 본론

1. CRCS 전력함

그림 1은 제어봉 구동장치 제어시스템(CRCS)의 전력함에 대한 구성도를 나타낸 것이다. 전력함은 크게 전력제어부, 전력변환부, 그리고 전력함 본체로 나누어진다. 하나의 전력함은 3개의 제어봉 그룹들을 구동시킬 수 있으며 전력제어부는 각 그룹에 대하여 상, 하 동일한 전력제어기들을 가진 이중화 구조를 취하고 있다.

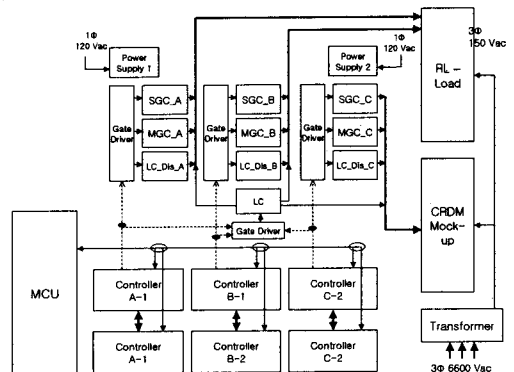


그림 1. CRCS 전력함 구성도

Fig. 1. Block diagram of CRCS power cabinet

그리고 전력변환부에서는 각 그룹 별로 정지 집게 코일 용과 동일한 이동 집게 코일 용 전력변환기를 가지고 있다. 올림 코일 용 전력변환기는 한 개가 3개의 그

를 모두 담당하고 있다. 전력변환기는 세 개의 사이리스터를 가진 삼상반파컨버터를 가지고 있다.

2. 전력제어기

전력함 전력제어부의 전력제어기는 한 그룹에 동일한 두 개의 제어기가 설치되어 이중화되었다. 이들 이중화된 제어기는 하나가 동작하면 나머지 하나는 대기하는 Master/Slave 형태를 취하고 있다. 한 전력제어기는 5종류로 총 7장의 카드를 가지고 있으며 이들은 DSP(Digital Signal Processor) 기반의 CPU 보드인 DPC(Digital Process Card), 각 코일 별로 총 3장의 SCC(Signal Conditioning Card), DIC(Digital Input Card), DOC(Digital Output Card) 그리고 PMC(Power Monitoring Card)들이다. 그림 2는 DPC의 구성을 나타낸 도면이다. DPC에서는 2개의 DSP들을 이용하여 각각 제어용 DSP와 통신용 DSP로 구분하고 2개의 DSP 사이의 데이터 수수는 DPRAM(Dual-Port RAM)을 사용하는 구조이다. 발생한 이벤트에 대한 정보들은 NVRAM에 저장되고 여기에 저장된 데이터들이 Off-line 혹은 On-line으로 현시된다. DPC는 개략적으로 외부로부터 입력되는 코일전압 3개(정지집게 코일, 이동집게 코일, 울림 코일)와 코일 전류 13개를 디지털 값으로 변환하는 A/D 변환기, DSP, FPGA, D/A 변환기, 기억소자, 실시간 감시장치인 LOM(Local Operator Module)과의 통신을 위한 UART 등으로 구성되어진다.

3. 이벤트 기록

전력제어기의 DPC가 전력 제어 및 감시와 LOM과의 통신의 크게 두 가지의 역할을 가지면서 두 개의 DSP들을 설치하여 두 기능을 분리하여 수행하도록 하였다. 전자적 기능은 제어용 DSP가 맡고 후자의 기능은 통신용 DSP가 담당한다. 각 코일에 관련된 정보들

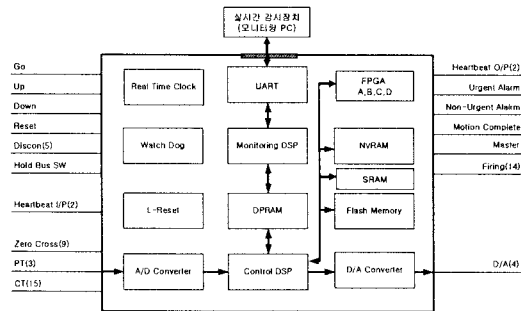


그림 2. DPC의 블록선도.

Fig. 2. Block diagram of DPC

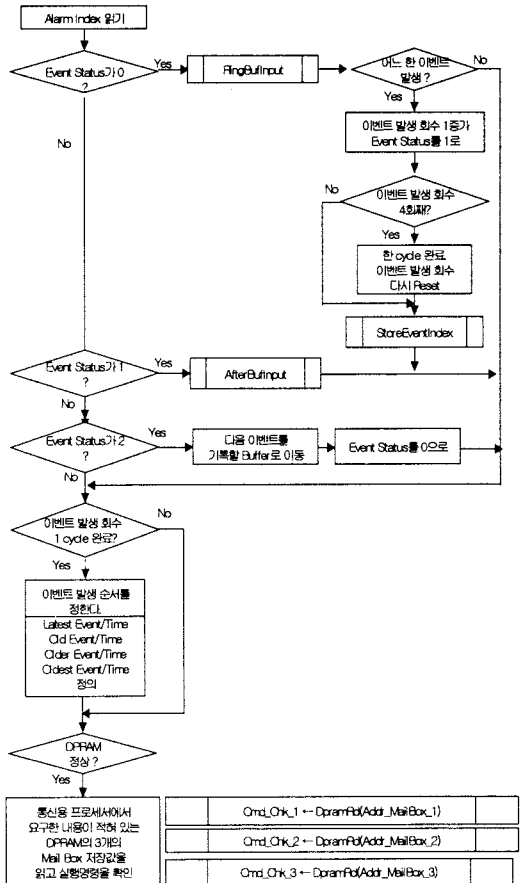


그림 3. 이벤트 기록 흐름도

Fig. 3. Flowchart of Event Logging

이 A/D 변환기를 거쳐 제어용 DSP로 보내어 지면 이 DSP에서 이벤트 발생 여부에 대한 판단을 행한다. 이벤트가 발생하지 않은 상태에서 계속적으로 링 저장 구조의 SRAM을 update시키고, 이벤트가 발생하였다고 판단하면 정해진 시간 동안 이벤트 발생 후의 데이터를 이벤트 데이터 버퍼로 저장한다. 데이터 버퍼로의 저장이 끝나면 이벤트 발생 전 1초, 발생 후 2초 간의 데이터를 NVRAM에 저장하고, 다음 이벤트 발생하기 전까지의 정상 데이터 저장을 위해 다음 링 구조 저장 장치로 이동하게 된다. 수 차례의 이벤트 발생에 대한 데이터를 기록할 때, 이벤트 발생 순서에 관계 없이 운전원이 요구하는 해당 이벤트 정보를 제공하기 위하여 각 이벤트의 발생 순서 정보를 저장한다. 그림 3에서는 이벤트 기록 과정의 흐름도를 보여 주고 있다.

4. LOM

새로 개발된 제어용 구동장치 제어시스템에서는 제어함 측에 실시간 감시 현시 장치 기능을 하는

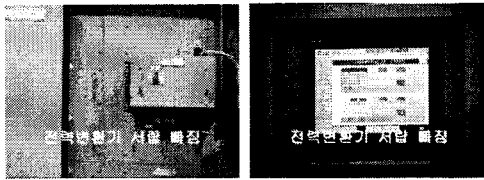


그림 4. LOM(우측)
Fig. 4. Local Operator Module

LOM(Local Operator Module)을 설치하였다. 이를 통하여 운전원은 제어기를 기준으로 하부의 전력함과 제어봉 구동장치 전반의 상태를 쉽게 파악할 수 있다. 그림 4에서는 전력변환기 서랍 빠짐이라는 이벤트가 발생하였을 때 LOM 화면에 해당 이벤트에 대하여 현시하는 것을 보여 주고 있다.

운전원은 고장 등의 이벤트가 발생하였을 때 현장에서 그 발생 여부와 해당 이벤트 데이터를 확인하여 이에 대처할 필요가 있다. 이를 위하여 제어함에 설치된 LOM에서 발생 이벤트에 대한 데이터를 현시하도록 하였다. 이벤트 데이터는 이벤트 발생 시에 전력제어기 DPC의 NVRAM에 저장된 것을 이용한다. 제어용 DSP가 NVRAM에 저장하였던 이벤트 데이터를 DPRAM에 옮기고 이를 통신용 DSP에 알리면 통신용 DSP는 DPRAM에 저장된 값을 읽어서 RS-485 통신으로 LOM에 보낸다.

III. 실험결과

그림 5에서는 수동 이중 유지(Double Hold) 이벤트가 발생하였을 때 LOM으로 보내기 전에 NVRAM에 저장된 데이터 중 이벤트 발생 전후 각 코일 전류에 대한 기록을 Off-line으로 확인한 결과를 보여 주고 있다. 그리고 그림 6에서는 NVRAM 저장 이벤트 데이터가 DPRAM을 통해 통신용 DSP로 읽혀서 통신으로

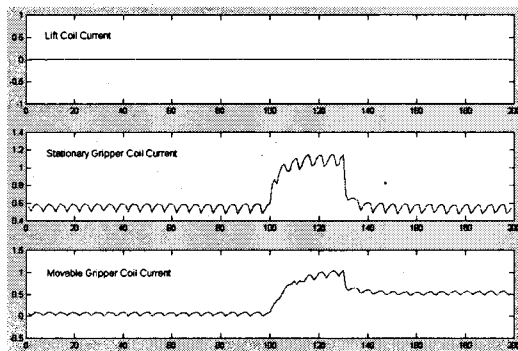


그림 5. 이중 유지 이벤트 로그 결과(Off-line)
Fig. 5. Off-line results of double hold event logging

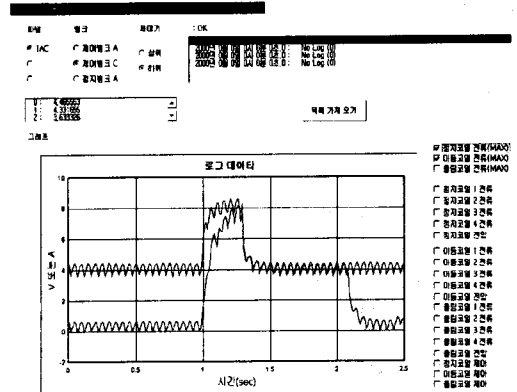


그림 6. 이중 유지 이벤트 로그 결과(On-line)
Fig. 6. On-line results of double hold event logging

LOM에 보내어진 결과가 LOM 화면으로 On-line 확인되는 것을 보여 주고 있다.

IV. 결론

본 논문에서 제시한 제어봉 구동장치 제어시스템 용 이벤트 기록 방법을 이용하여 제어봉 구동장치 제어시스템의 현장 운전시 시스템에서 발생하는 이상 현상에 대한 기록 및 실시간 감시를 하였다. 이를 통하여 전력제어기 자체의 성능 확인과 고장 원인 규명에 필요한 정보 제공 등의 효과를 볼 수 있다. 이벤트 발생 전후의 데이터를 기록하여 이벤트 발생 상황에 대하여 자세히 판단할 수 있고 발생한 여러 이벤트들을 차례로 저장하여 각 이벤트 사이의 연관성도 파악할 수 있다.

참고문헌

- [1] 정구관, "제어봉제어설비", 한국수력원자력(주), 1991.
- [2] Westinghouse, "RCS I&C Training Manual".
- [3] "Rod Control System, System Training Guide", Univ. of California, Berkeley.
- [4] 이종무, 김춘경, 김석주, 천종민, 박민국, 정순현, 남정환, "제어봉 구동장치 제어시스템용 전력함 개발", 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 제D권, pp. 2274-2276, 7. 2003.
- [5] 한국전력공사, "제어봉의 제어계통", 1980