2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2004.7.14-16

원전용 분산제어시스템을 이용한 원자로 제어봉제어시스템 제어함 설계

천종민, 김석주, 김춘경, 이종무, 권순만, 정순현
한국전기연구원

Design of Control Cabinet in Control Rod Control System Using Distributed Control System for Nuclear Power Plant

Jong-Min Cheon, Seog-Ju Kim, Choon-Kyung Kim, Jong-Moo Lee, Soonman Kwon and Soon-Hyun Jeong
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - This paper deals with the design of the Control Cabinet in Control Rod Control System(CRCS), using a domestic Distributed Control System(DCS) developed to localize the instrumentation and control(I&C) system for nuclear power plant(NPP). There are many parts developed by domestic skill and being operated successfully in NPP, but the development of I&C system as an essential part has been slow in progress. We will show the great possibility of developing our own I&C system by applying this domestic DCS to nuclear I&C system and confirming its successful operation, in this paper.

1. 서 론

천연 자원이 부족한 우리나라에서는 급증하는 전력수요에 대응하기 위해 원자력 발전에 의존하지 않을 수 없다. 이를 위해 노후화된 원전의 retrofit이나 신규 원전 건설을 계획하고 있으며, 이에 대한 경제적이고 효율적인 수행에는 관련 국내 기술력 자립이 필수적이다. 현재 기계적인 하드웨어 설비 제작 기술은 거의 자립단계에 이르렀지만 원전의 핵심 부분인 계측제어시스템에 관한 국내 기술은 아직 초보 단계에 머물고 있다.

원전 계측제어시스템에는 여러 부분이 있지만, 본 논문에서는 원자로 출력을 제어하는 제어봉제어시스템(CRCS : Control Rod Control System)을 그 대상으로 한다. 원자로 제어봉제어시스템의 제어함을 국내 기업인 한전 전력연구원과 (주)우리기술에서 개발 및 제작한 원전용 분산제어시스템(DCS : Distributed Control System)으로 설계하여, 이미 본 연구원에서 제작한 전력함과 연계시켜 전체 제어봉제어시스템을 국내 기술로 제작하였다. 이렇게 구성된 제어봉 제어시스템으로 시험용 모형 제어봉구동장치를 동작시켜 그 동작 요건을 만족시키는 것을 보임으로 원전 계측제어시스템의 국산화의 높은 가능성을 확인할 것이다.

2. 본 론

2.1 제어봉제어시스템

원전 계측제어설비인 제어봉제어시스템은 중성자 흡수재로 만들어진 제어봉의 상하 운동을 제어하여, 궁극적으로 원자로 출력을 조절하는 매우 중요한 설비이다. 제어봉제어시스템은 크게 제어함과 전력함의 두 부분으로 나누어진다. 제어함에는 상위의 출력 조절 시스템으로부터 제어봉 속도 및 방향 명령을 수수하여 구체적인 제어봉 동작이 구현되도록 명령을 만들어 주는 주제어부(Main Control Unit)가 설치되며, 전력함에는 주제어부로부터 오는 명령에 따라 제어봉 구동장치에 공급되는 전력을 알맞게 제어하는 전력제어부(Power Control Unit)와 전력변환부가 포함된다[1, 2].

새로 개발된 제어봉제어시스템은 기존의 노후하고 복잡한 아날로그 회로들을 개선할 목적으로 주제어부와 전력제어부에 디지털 시스템을 도입하였다. 전력제어부는 DSP(Digital Signal Processor)를 기반으로 설계하며 주제어부는 여러 디지털 시스템들 가운데 분산제어시스템(이하 DCS)으로 설계하였다. 기기 국산화를 목표로, 국내 기업인 한전 전력연구원과 (주)우리기술에서 개발 및 제작한 원전용 DCS로 전력함을 설계하여 이를 이미 자체 제작된 전력함에 연계함으로 순수 국내 기술에 의한 제어봉제어시스템을 구성한다.

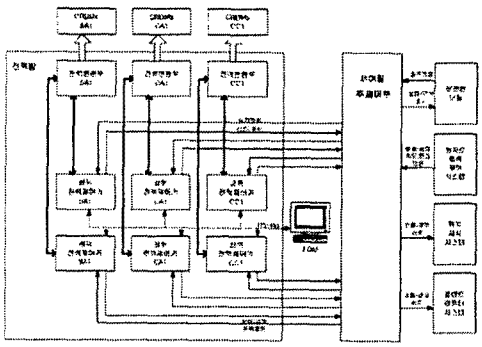

그림 1. 제어봉제어시스템(CRCS)의 구성

2.2 분산제어시스템(DCS)

DCS는 제어 기능은 분산시키고 정보처리 및 운전조작 기능은 집중시켜서 신뢰성은 향상시키고 데이터 관리를 원활하게 하는 기본 목적을 가지고 있다[3]. 현재 발전소에 사용되는 대부분의 DCS가 외국산인 상황이지만 원전계측제어시스템 국산화의 일환으로 개발된 원전용 DCS(K-DCS)의 제어봉 제어시스템에 대한 성공적 적용을 통하여 국산 DCS의 실제 현장 이용 가능성을 확인해 볼 수 있다.

2.2.1 K-DCS의 구성

K-DCS는 크게 세 부분으로 나뉘는데, 이들은 현장 신호 처리 및 제어 연산 그리고 자가 진단 및 다중화를 구현하는 FCS(Field Control Station)와 FCS가 구체적인 제어 행위를 할 수 있도록 논리를 제공하는 EIS(Engineer Interface Station), 그리고 운전원이 현장을 운전하고 감시하며 그 운전 상황을 기록할 수 있도록 하는 OIS(Operator Interface Station)이다. 그리고 이들 사이의 데이터 교환과 공유를 위하여 데이터 통신망으로 서로 연결되어 있는데 현장의 여러 제어기들 사이의 제어 통신망, 제어 통신망과 현장 제어기 간의 직접 통신을 위한 필드 통신망, 그리고 광범위하게 분산되어 있는 여러 시스템들을 연결시켜 정보들을 서로 공유하기 위한 정보통신망 등이 있다. 그림 2에서는 K-DCS의 전체 구성을 보여 주고 있다.

그림에서 FCU(Field Control Unit)는 현장에서 직접 제어를 수행하는 제어기에 해당하며 PCU(Process

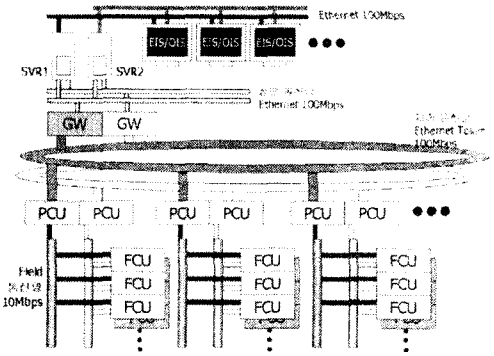

그림2. K-DCS 전체 구성

Control Unit)는 제어 통신망에 위치하여 PCU들 간의 정보를 공유하며 필드 통신망을 통해서 제어명령을 해당 FCU에 전달한다. 하나의 PCU에 연계되는 FCU들이 필드 통신망으로 연결되어 한 FCS(Field Control Station)을 이루고 물리적으로 하나의 함(cabinet) 형태를 취하고 있다. K-DCS FCS 한 대가 제어봉 제어시스템의 제어함으로 사용될 것이다.

2.2.2 K-DCS 제어함

그림 2의 각 통신망을 통합하여 데이터 전송 속도를 개선한 구조의 K-DCS를 이용하여 제어함을 구성한 형태를 그림 3에서 보여 준다. 실제 원자력 발전소의 제어봉제어시스템 제어함은 외부의 운전원 모듈, 원자로 출력 제어 시스템, 위치 지시 시스템 그리고 플랜트 컴퓨터 시스템 등과 연계되어 있지만(K-DCS 구조에서 다른 FCS나 상위 OIS 등에 해당한다.) 실험실 등급으로 다른 FCS들은 생략하였다.

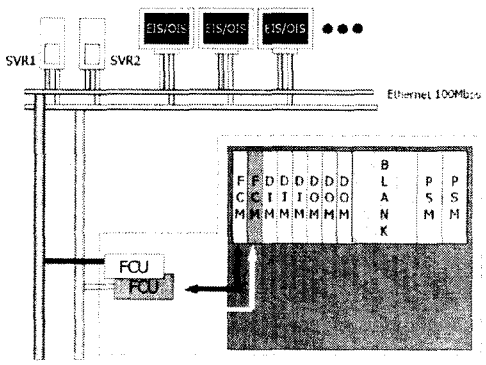

그림 3. 제어함에 사용되는 K-DCS 구조

그림 3에서 제어함 FCS에는 필드 제어 모듈(FCM)이 이중화된 FCU 한 기가 설치되어 있다. 이는 제어봉 그룹 5개의 동작을 기준으로 연계되는 입출력 신호 개수를 고려한 것으로 전력함이 더 추가되면 FCU도 이에 따라 증설될 수 있다. 점선 내부에서는 제어함 FCS의 한 FCU에 소속된 모듈(카드)들을 보여 주고 있다. 이중화된 필드 제어 모듈 한 쌍을 비롯하여 디지털 입력 모듈 3장, 디지털 출력 모듈 3장 그리고 이중화 전원 공급 모듈(PSM) 한 쌍들이 제어함 FCU 한 기를 구성하고 있다.

2.2.3 운전원 모듈 설계

설계된 운전원 모듈은 제어봉 운전 모드 선택 기능, 제어봉 속도 선택 기능, 제어봉 운동 방향 선택 기능과 현재 제어봉 위치 지시 기능 등을 포함하고 있다[4]. 운전원 모듈은 K-DCS 용 프로그램 툴인 그래픽 빌더를 사용하였고, 운전원 모듈 프로그램이 탑재된 컴퓨터가 Ethernet 이중화 통신으로 FCM과 연결되어 데이터를 송수신한다. 그림 4에서는 실제 제어봉을 운전 중인 운전원 모듈 화면을 보여 주고 있다. 참고로 제어뱅크 C(CBC) 내의 두 개의 그룹인 CBC1과 CBC2 사이에는 엇갈림(staggering) 운전이 되고 제어뱅크 C(CBC)와 제어뱅크 D(CBD) 사이에는 뱅크 중첩(overlap) 운전이 요건대로 이루어지고 있는 것을 확인할 수 있다.

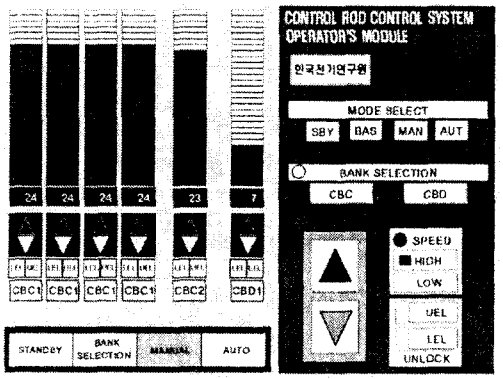

그림 4. 운전원 모듈 화면

2.3 시스템 통합

2.2절의 과정으로 설계된 K-DCS 제어함을 기존의 전력함과 연결하는 시스템 통합 과정을 이 절에서 소개한다. 아래의 표 1은 전력함의 한 개 제어봉 그룹 전력제어부와 제어함의 주제어부 사이의 디지털 연계 신호들을 나타낸다.

표 1. 제어함과 전력함 간의 디지털 연계 신호

번호	신호명	종류	특징
DO1	동작 개시(Go)	출력	제어봉 1개 그룹 1 스텝 이동 개시 명령
DO2	인출 방향(Up)	출력	제어봉 인출 지시
DO3	삽입 방향(Dn)	출력	제어봉 삽입 지시
DO4	경보 리셋(Reset)	출력	전력함에 걸려 있는 긴급 경보 해제
DI1	동작 완료 (Motion Complete)	입력	제어봉 1개 그룹 1 스텝 이동 완료 신호
DI2	긴급 경보 (Urgent Alarm)	입력	전력함에 긴급 고장이 발생하였음을 알림
DI3	비긴급 경보 (Nonurgent Alarm)	입력	전력함에 비긴급 고장이 발생하였음을 알림
DI4	마스터 제어기 (Master Cont.)	입력	어느 제어기가 Master인지 알림

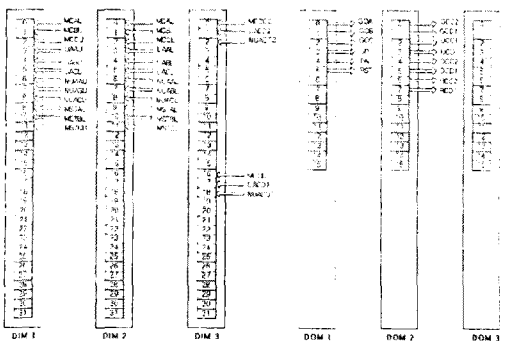

그림 5. DIM과 DOM 각 채널에 할당된 디지털 신호들

그림 5는 5개의 제어봉 그룹 별로 연계될 디지털 입출력 신호들을 DIM(32개 채널 소유)과 DOM(16개 채널 소유)의 각 채널에 할당한 결과를 보여 주고 있다. DOM 터미널 블록은 릴레이 접점 형태로 되어 있어 DOM 출력 신호가 High이면 접점이 접촉되고 접촉되는 순간 이와 연결된 전력함 측 릴레이에 12V가 걸리며 A접점이 접촉된다. DIM 터미널 블록은 전력함으로부터 12V 크기의 펄스 신호가 들어오면 DIM 입력 신호가 High로 인식하게 된다.

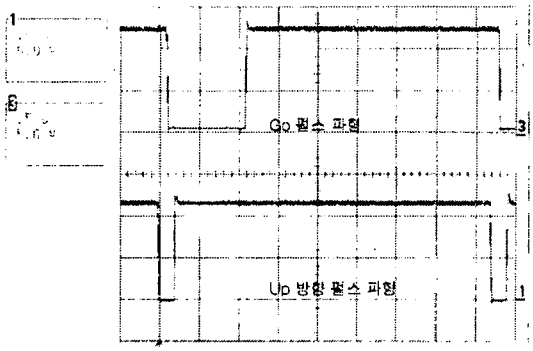

그림 6. Go 명령과 인출(Up) 방향 명령 신호 출력 파형

그림 6은 K-DCS 제어함 DOM 터미널 블록으로부터 동작 개시(Go) 명령과 인출(Up) 방향 명령 신호가 출력되는 파형을 보여 주고 있다. 이들 파형의 요건은 Go 펄스와 방향 펄스 사이에는 1msec 이상의 중첩 시간이 필요하며 Go 명령의 High 지속 시간은 833.33msec를 넘어서는 안 된다[5]. 그림 5에서 보면 Go 명령 High 지속 시간이 500msec 간격을 가지고 방향 펄스 신호와 1msec 이상의 중첩 시간을 가지므로 상기의 요건을 잘 만족하고 있음을 알 수 있다.

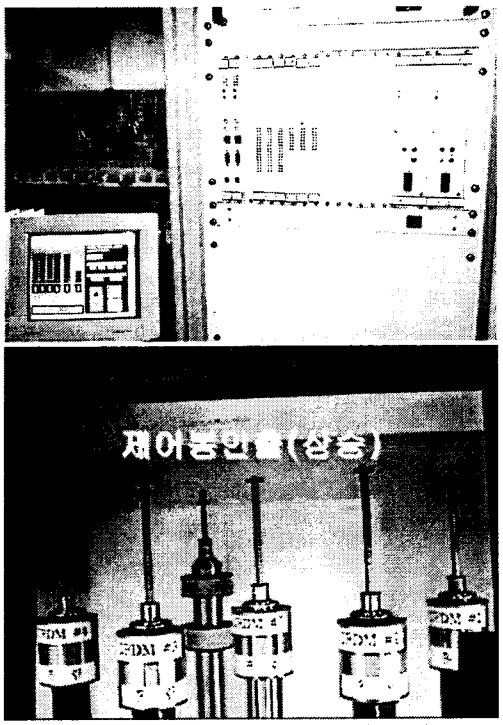

그림 7. 실제 동작 중인 제어봉제어시스템

그림 7은 K-DCS 제어함을 전력함과 통합하여 구성한 제어봉 제어시스템의 실제 동작 모습을 보여 주고 있다. 위 사진의 모니터는 운전원 모듈 화면을 보여주고 그 옆은 K-DCS 제어함이다. 아래 사진은 본 연구원에서 제작한 동작 시험용 제어봉구동장치 Mock-Up의 동작 모습이다. 사진에서 보듯이 K-DCS 제어함에 의한 제어봉 제어시스템이 성공적으로 제어봉구동장치를 요건에 맞게 구동시키고 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

기술 자립도가 미진한 원전 계측제어시스템에 대한 국산화의 일환으로 순수 국내 기술력에 의한 제어봉제어시스템 설계 및 제작 결과를 확인하였다. 국내 기업에서 개발하고 제작한 원전용 DCS로 제어함을 설계하여, 본 연구원에서 자체 개발한 전력함에 연결한 제어봉제어시스템이 요건에 맞게 성공적으로 동작함을 확인할 수 있었다. 이 결과를 통해 원전 계측제어시스템에 대한 기술력 자립의 높은 가능성을 기대할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] 정구관, "제어봉제어설비", 한국수력원자력(주), 1991
[2] 김춘경 외 5명, "다기능을 가진 제어봉 구동장치 전력제어기 개발", 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2215-2217
[3] 김석곤 외 4명, "원전용 분산제어시스템의 다중화 구현 및 제어 알고리즘 설계," 제 3회 원자력학회·전기학회 공동주최 계측제어기술 워크샵 논문집, 2003
[4] "제어봉 제어시스템 제어함 소프트웨어 요건 사양서," CRCS KERI PLCSRS 001, 한국전기연구원, 2003
[5] "제어봉 제어시스템 전력함 소프트웨어 요건 사양서," CRCS KERI SRS 002, 한국전기연구원, 2003