

# 원자로 제어봉구동장치제어시스템 주제어부 설계

## A Design of Main Control Unit in CRCS/CEDMCS

철종민<sup>†</sup>, 이종무<sup>\*</sup>, 김춘경<sup>\*</sup>, 권순만<sup>\*\*</sup>, 정순현<sup>\*\*\*</sup>

(Jong-Min Cheon, Jong-Moo Lee, Choon-Kyoung Kim, Soonman Kwon and Jong-Ryeol Shin)

**Abstract** - In this paper, we design two types of Main Control Unit for Control Rod Control System and Control Element Drive Mechanism Control System, respectively, 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 skills 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 peculiar Korean I&C system by applying this domestic DCS to nuclear I&C system and confirming its successful operation.

**Key Words** : Control Rod Control System, Control Element Drive Mechanism Control System, Main Control Unit, Distributed Control System.

### 1. 서론

한국전기연구원은 과기부 원전계측제어시스템개발사업(KNICS)에 참여하여, 원전계측제어시스템의 주요 부분인 제어봉구동장치제어시스템의 국산화를 목표로 기존 웨스팅하우스 타입과 KNGR 용 제어봉구동장치제어시스템의 전력 제어 및 감시부(Power Control and Monitoring Unit ; PCAMU)에 대한 각각의 원형 개발을 마무리하였다. 제어봉구동장치제어시스템은 크게 제어함과 전력함으로 구성되어 각각 주제어부(Main Control Unit ; MCU)와 PCAMU를 포함한다. 이미 개발된 두 가지 타입의 PCAMU들에 국내 기업인 한전 전력연구원과 (주)우리기술이 개발한 원전용 분산제어시스템(DCS : Distributed Control System)을 이용하여 요건대로 설계한 MCU를 연계하여 순수 국내 기술력에 의한 제어봉구동장치제어시스템을 개발한다. 이렇게 구성된 제어봉구동장치제어시스템으로 시험용 모형 제어봉구동장치를 동작시켜 주어진 동작 요건을 만족시키는 것을 보임으로 원전 계측제어시스템의 국산화의 높은 가능성을 확인할 것이다.

### 2. 본론

#### 2.1 제어봉구동장치제어시스템

원전 계측제어설비인 제어봉구동장치제어시스템은 중성자 흡수재로 만들어진 제어봉의 상하 운동을 제어하여, 궁극적으

로 원자로 출력을 조절하는 매우 중요한 설비이다. 제어봉구동장치제어시스템은 Westinghouse 타입의 3-코일 형 제어봉구동장치(Control Rod Drive Mechanism ; CRDM)를 제어하는 제어봉제어시스템(Control Rod Control System ; CRCS)[1]과 한국표준원전(Korea Standard Nuclear Power Plant ; KSNP)과 차세대원자로(Korea Next Generation Reactor ; KNGR)에서 사용하는 4-코일 형 제어봉구동장치(Control Element Drive Mechanism ; CEDM)를 제어하는 제어봉구동장치제어시스템(Control Element Drive Mechanism Control System ; CEDMCS)의 크게 두 가지 형태로 나누어진다[2], 각 제어시스템은 제어함과 전력함의 두 부분으로 구성되어 전자에는 상위의 출력 조절 시스템으로부터 제어봉 속도 및 방향 명령을 수수하여 구체적인 제어봉 동작이 구현되도록 명령을 만들어 주는 MCU가 설치되고, 후자에는 주제어부로부터 오는 명령에 따라 CRDM/CEDM에 공급되는 전력을 알맞게 제어하고 동작 상태를 감시하는 PCAMU가 포함된다. 새로 개발된 제어봉구동장치제어시스템은 기존의 노후하고 복잡한 아날로그 회로들을 개선할 목적으로 MCU와 PCAMU에 디지털 시스템을 도입하였다. PCAMU의 전력제어부는 DSP(Digital Signal Processor)를 기반으로 설계하여[3] CRCS 용 PCAMU와 CEDMCS 용 PCAMU 원형들을 이미 제작 완료하였다. MCU는 여러 디지털 시스템들 가운데 DCS를 이용하여 한 기구에서 CRCS 용과 CEDMCS 용의 두 가지 타입을 선택하도록 설계하였다. 기기 국산화를 목표로, 국내 기업인 한전 전력연구원과 (주)우리기술에서 개발 및 제작한 원전용 DCS-MCU를 이미 자체 제작된 PCAMU에 연계함으로 순수 국내 기술에 의한 제어봉구동장치제어시스템을 구성한다.

<sup>†</sup> 교신저자 : 韓國電氣研究院 計測制御研究그룹, 研究員  
E-mail : jmcheon@keri.re.kr

<sup>\*</sup> 韓國電氣研究院 計測制御研究그룹, 先任研究員

<sup>\*\*</sup> 韓國電氣研究院 計測制御研究그룹, 責任研究員

<sup>\*\*\*</sup> 韓國電氣研究院 計測制御研究그룹

### 2.1.1 전력함

한국전기연구원에서 새로 개발된 전력함의 PCAMU는 DSP 기반으로 이중화 구조를 취하여 고신뢰성을 확보한 전력제어부와 서랍 구조를 취하여 유지보수성 및 사용자 편의성을 가진 전력변환부로 구성되며 제어봉 추락 방지를 강화한 이중 유지 성능을 가진 것이 특징이다[4]. CRCS 용 전력함 대는 제어봉 세 그룹을 운전할 수 있으며 실제 가동 원전에 직접 적용 가능한 수준으로 제작되었다. CEDMCS 용 전력함은 KNGR 요건을 참고로 제작되었으며 성능 시험용으로 제한적인 성능을 가진 원형(prototype) 형태이다. CEDMCS의 제어구조는 CEDM 한 대 당 전력제어부 한 기가 붙어 있는 1:1 구조이다. 전력함 한 대에 3기의 CEDM이 구동되도록 세 개의 단위 전력제어부를 설치하였다. 단위 전력제어부는 신뢰성 확보를 위하여 이중화 구성이 원칙이지만 원형에서는 세 개의 전력제어부 중에서 한 개만 이중화로 설계되었다.

### 2.1.2 제어함

원전계측제어시스템 국산화의 일환으로 개발된 원전용 DCS(K-DCS)를 사용하여 제어함의 MCU를 설계한다. DCS는 제어 기능은 분산시키고 정보처리 및 운전조작 기능은 집중시켜서 신뢰성은 향상시키고 데이터 관리를 원활하게 하는 기본 목적을 가지고 있다[5]. 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 정보 통신망 등이 있다. 그림 1에서는 K-DCS의 전체 구성을 보여 주고 있다.

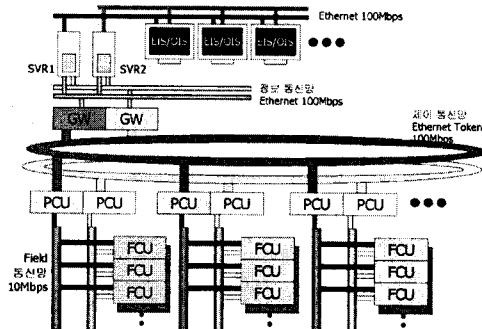


그림 1. K-DCS 전체 구성

그림에서 FCU(Field Control Unit)는 현장에서 직접 제어를 수행하는 제어기에 해당하며 PCU(Process Control Unit)는 제어통신망에 위치하여 PCU들 간의 정보를 공유하며 필드 통신망을 통해서 제어명령을 해당 FCU에 전달한다. 하나

의 PCU에 연계되는 FCU들이 필드 통신망으로 연결되어 한 FCS(Field Control Station)를 이루어 물리적으로 하나의 함(cabinet) 형태를 취하고 있다. K-DCS FCS 한 대가 제어봉 구동장치제어시스템의 제어함으로 사용된다. 그림 2에서는 각 통신망을 통합하여 데이터 전송 속도를 개선한 구조의 K-DCS FCS를 보여주고 있다.

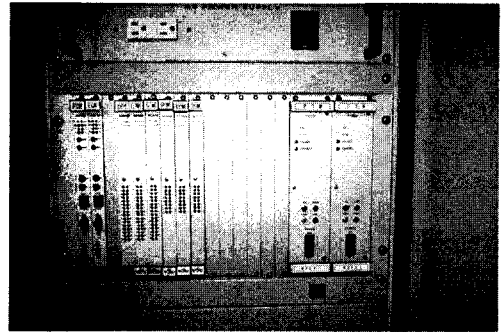


그림 2. 제어함으로 사용되는 K-DCS FCS

그림 2에서는 실제 제어함으로 사용되는 K-DCS FCS를 보여주고 있다. 여기에는 필드 제어 모듈(FCM)이 이중화된 FCU 한 기가 설치되어 있는데, 이는 현재 연계되는 입출력 신호 개수를 고려한 것으로 전력함이 더 추가되면 FCU도 이에 따라 증설될 수 있다. 제어함 FCS의 한 FCU에 소속된 모듈(카드)들은 이중화된 필드 제어 모듈(FCM) 한 쌍을 비롯하여 디지털 입력 모듈(DIM) 3장, 디지털 출력 모듈(DOM) 3장 그리고 이중화 전원 공급 모듈(PSM) 한 쌍들이다. 운전원 모듈은 K-DCS 용 프로그램 튜닝 그래픽 빌더를 사용하였고, 운전원 모듈 프로그램이 탑재된 컴퓨터가 Ethernet 이중화 통신으로 FCM과 연결되어 데이터를 송수신한다.

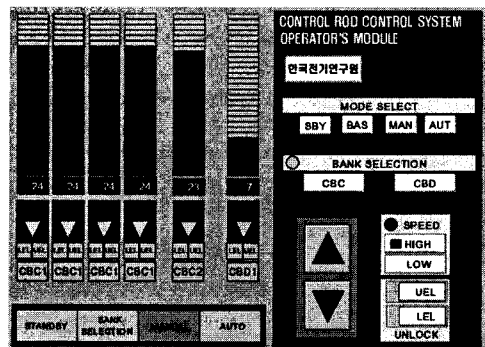


그림 3. 운전원 모듈 화면 (CRCS 용)

그림 3에서는 CRCS에 의해 실제로 제어봉을 운전 중인 CRCS 용 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.

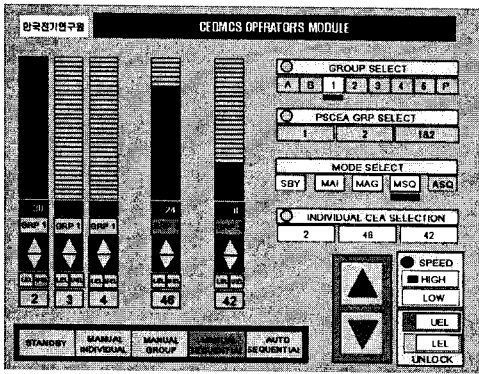


그림 4. 운전원 모듈 화면 (CEDMCS 용)

그림 4에서는 CDMCS에 의해 실제로 제어봉 그룹 중첩 운전 중인 운전원 모듈 화면을 보여 주고 있는데 이 운전원 모듈을 통해 Auto Sequential(ASQ) 모드를 제외한 Standby(SBY), Manual Individual(MAI), Manual Sequential(MSQ) 모드들을 3기의 CEDM으로 구현할 수 있도록 하였다. 즉 한 개의 제어봉 Group 동작인 경우는 3기의 CEDM이 그 Group에 속한 것으로 하여 동시에 움직이도록 하였고, Sequential 모드와 같은 제어봉 그룹 간의 중첩이 요구되는 상황에서는 3기의 CEDM 각자가 각 제어봉 그룹을 대표하여 3기의 그룹 중첩 운전을 구현한다. 운전원 모듈은 CRCS 용과 CDMCS 용으로 나누어 선택할 수 있다.

## 2.2 시스템 통합

2.1.2절의 과정으로 설계된 MCU를 가진 K-DCS 제어함용 기존 전력함과 연계하는 시스템 통합 과정을 이 절에서 소개한다. 한 대의 제어함으로 CRCS 용 전력함과 CDMCS 용 전력함 모두에 제어 신호를 줄 수 있도록 하였다.

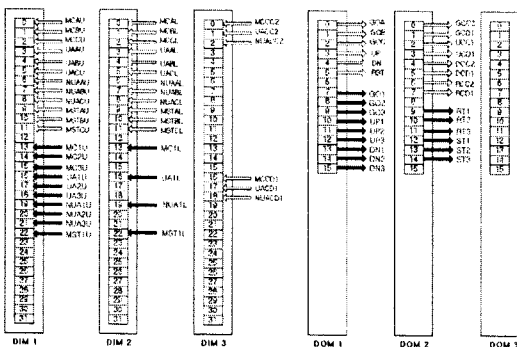
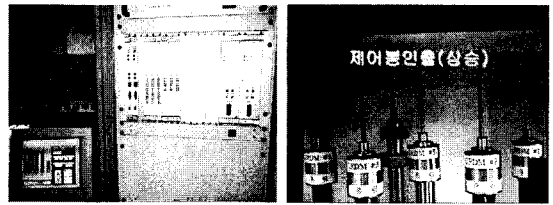
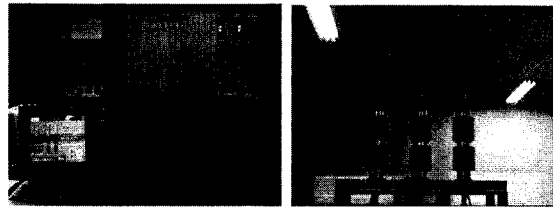


그림 5. DIM과 DOM 각 채널에 할당된 디지털 신호들

그림 5는 5개의 CRCS 제어봉 그룹 별로 연계될 디지털 입출력 신호들(백색 화살표)과 3기의 CEDM 별로 연계될 디지털 입출력 신호들(회색 화살표)을 DIM(32개 채널 소유)과 DOM(16개 채널 소유)의 각 채널에 할당한 것을 보여 주고 있다.



(a)



(b)

그림 6. 실제 동작 중인 제어봉구동장치 (a: 3-코일 타입 CRDM, b: 4-코일 타입 CEDM)

그림 6은 K-DCS 제어함을 전력함과 연계하여 통합 구성한 제어봉구동장치제어시스템의 실제 동작 모습 각 타입 별로 보여 주고 있다. (a)는 CRCS로 연구원에서 제작한 시험용 3-코일 타입 CRDM Mock-Up을 구동시키는 사진이다. (b)는 CDMCS로 역시 연구원에서 제작한 시험용 4-코일 타입 CEDM Mock-Up을 구동시키는 사진이다. 사진들에서 보듯이 K-DCS로 설계된 MCU에 의한 제어봉구동장치제어시스템이 성공적으로 제어봉구동장치(CRDM/CEDM)들을 요건에 맞게 구동시키고 있음을 알 수 있다.

## 3. 결론

본 연구원에서 자체 개발한 PCAMU와 국내 기업에서 개발하고 제작한 원전용 DCS로 MCU를 설계하여 순수 국내 기술력에 의한 제어봉구동장치제어시스템을 구축하였다. 이 시스템으로 실제 원전에서 요구되는 제어봉 동작들을 실제로 구현하여 그 실효성을 확인하였으며 원전 계측제어시스템의 국산화의 가능성을 한층 높였다고 할 수 있다. 국가적으로 중요한 설비이면서도 외국 기술에만 의존해 있던 분야가 KNGR 개발에서 진정한 기술 자립을 가진다면 국민적 자신감을 고취하는 효과를 줄 것으로 예상된다.

## 참고 문헌

- [1] 정구관, "제어봉제어설비", 한국수력원자력(주), 1991.
- [2] "Technical Manual For Control Element Drive Mechanism Control System Ulchin Nuclear Power Plant Units 5&6," Westinghouse Electric Company CE Nuclear Power LLC, 2000.
- [3] 김춘경 외 5명, "다기능을 가진 제어봉 구동장치 전력제어기 개발", 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2215-2217.
- [4] 이종부 외 6명, "제어봉 구동장치 제어시스템용 전력함 개발", 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2274-2276.
- [5] 김석근 외 4명, "원전용 DCS의 다중화 구현 및 제어 알고리즘 설계," 제 3회 원자력학회-전기학회 공동주최 계측제어기술 워크숍 논문집, 2003