

원전용 분산제어시스템을 이용한 차세대 원전 제어봉구동장치제어시스템 원형 개발

천종민, 이종무, 김춘경, 박민국, 권순만, 신종렬
한국전기연구원

Development of KNGR-CEDMCS Prototype Using DCS for Nuclear Power Plant

Jong-Min Cheon, Jong-Moo Lee, Choon-Kyung Kim, Min-Kook Park, Soonman Kwon and Jong-Ryeol Shin
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - Korea Next Generation Reactor(KNGR) is in the midst of being developed and will exceed Korea Standard Nuclear Power Plant(KSNP) economically. Domestic Instrumentation and Control(I&C) systems shall be applied to KNGR and the development of Control Element Drive Mechanism Control System(CEDMCS) considered as an essential part in nuclear I&C system will be dealt with in this paper. The newly developed CEDMCS has the control cabinet using the nuclear Distributed Control System(DCS) made in Korea and the power cabinet produced by our research institute and interfaced with the DCS control cabinet.

원전 계측제어설비인 CEDMCS는 중성자 흡수제로 만들어진 제어봉의 상하 운동을 제어하여, 궁극적으로 원자로 출력을 조절하는 매우 중요한 설비이다. CEDMCS는 크게 제어함과 전력함의 두 부분으로 나누어진다. 제어함은 상위의 출력 조절 시스템으로부터 제어봉 속도 및 방향 명령을 수신하여 구체적인 제어봉 동작이 구현 되도록 명령을 만들어 전력함에 전달하며 전력함은 제어함으로부터 오는 명령에 따라 제어봉구동장치(CEDM : Control Element Drive Mechanism)에 공급되는 전력을 알맞게 제어하고 변환하는 역할을 한다[1, 2].

새로 개발된 CEDMCS는 완전한 디지털제어시스템으로 구축하기 위하여 전력함의 전력제어부를 DSP(Digital Signal Processor) 기반으로 설계하며[3], 제어함의 주제어부는 여러 디지털 시스템들 가운데 분산제어시스템(이하 DCS)을 적용하였다.

1. 서 론

미국 ABB-CE사(社)의 시스템-80을 기준모델로 하고, 축적된 국내 원전기술로 국내 실정에 맞고 안전성을 향상시켜 개발된 한국표준원전(Korea Standard Nuclear Power Plant; KSNP)을 대폭 개선한 한국 차세대 원자로(Korea Next Generation Reactor; KNGR)가 한창 개발 중이다. KNGR은 KSNP와 비교할 때, 발전용량이 100만 kW에서 140만 kW 급으로 늘어나서 경제성이 대폭 향상되고, 원자로 등 주요 설비 성능을 개량해 원전 수명이 40년에서 60년으로 연장되도록 한 것이 특징이다. 현재 우리나라의 원자력 기술 수준을 보면 20여년에 걸친 원전 건설과 운전 경험의 축적으로 플랜트 종합설계, 원전의 운전 및 정비 등의 분야는 선진국과 대등한 수준에 이르렀지만, 계측제어분야는 기술의 특성상 Know-How가 많고 고부가가치 산업이므로 기술을 보유한 외국 회사가 기술 공개와 이전을 꺼리는 분야이며 타 분야에 비해 상대적으로 매우 낙후되어 있다. 그래서 신규원전 건설 시 막대한 외화 유출 및 원전 기반기술의 외국 기업 종속이 유발될 수밖에 없다. 외국 회사 모델을 기준으로 한 KSNP의 한계를 벗어나서 KNGR 개발에서는 원전계측제어시스템의 국산화가 절실히 요구되는 것이 바로 그 이유이다.

본 연구원은 과거부 원전계측제어시스템개발사업(KNICS)에 참여하여, 원전계측제어시스템의 주요 부분인 제어봉구동장치제어시스템(CEDMCS : Control Element Drive Mechanism)의 국산화를 목표로 KNGR-CEDMCS용 전력함 원형 개발을 마무리하였다. CEDMCS는 크게 제어함과 전력함으로 구성된다. 개발된 전력함 원형에 국내 기업인 한전 전력연구원과 (주)우리기술이 개발하고 제작한 원전용 분산제어시스템(DCS : Distributed Control System)에 의한 제어함을 연계하여 순수 국내 기술력에 의한 CEDMCS를 개발한다.

2. 본 론

2.1 제어봉구동장치제어시스템

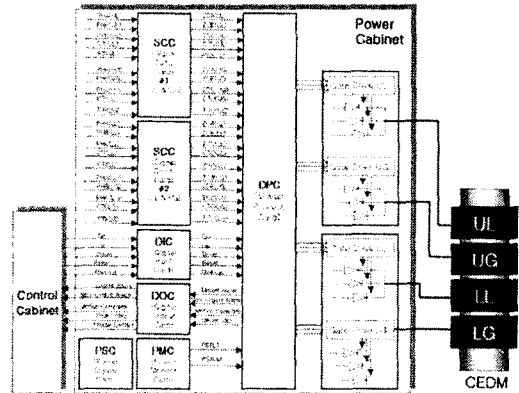


그림 1. KNGR CEDMCS 구성

2.1.1 KNGR-CEDMCS 전력함 원형(prototype)

KSNP와 KNGR 용 CEDMCS의 제어구조는 CEDM 한 대 당 전력제어부 한 기가 붙어 있는 1:1 구조이다. 이미 개발된 CRCS(Control Rod Control System) 개발 기술을 바탕으로 KNGR용 전력함을 개발하였다[4].

전력함 1-Bay에 세 대의 CEDM이 구동되도록 세 개의 단위 전력제어부를 설치하였다. 하나의 단위 전력제어부에는 Upper 코일용 SCC(Signal Conditioning Card), Lower 코일용 SCC, DIC(Digital Input Card), DOC(Digital Output Card), PMC(Power Monitoring Card), PSC(Power Supply Card) 그리고 DPC(Digital Process Card)의 총 7장의 카드들로 구성되어 있다. 단위 전력제어부는 신뢰성 확보를 위하여 이중화 구성을 원칙으로 하지만 전력함 원형에서는 세 개의 전력제어부 중에서 한 기만 이중화로 설계한다.

전력변환부는 서랍 구조를 취하여 유지보수성 및 사용자 편의성을 향상시켰다. CEDM 한 대 당 두 개의 전력 변환 서랍을 가지고 두 개의 서랍들은 각각 Upper 코일

(Upper Lift 코일, Upper Gripper 코일)과 Lower 코일 (Lower lift 코일, Lower Gripper 코일)을 담당한다. Gripper 코일을 분리한 이유는 고장 발생 시, 이중 유지 (Double Hold) 동작을 가능하게 하기 위한 것으로 이중 유지 동작을 구현함으로써 인해 제어용 낙하를 방지하는 고신뢰성을 확보할 수 있다.

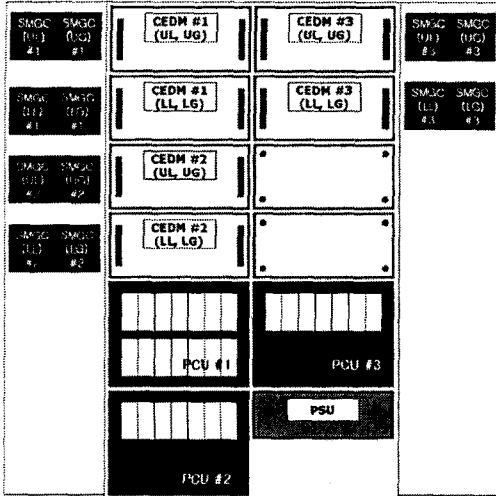


그림 2. KNGR-CEDMCS 용 전력함 원형의 구성

그림 2는 CEDM 세 대를 구동시킬 수 있는 전력함 원형을 보여 주고 있다. 그림에서 전력변환부는 상부의 서랍 형태로 위치하고 전력제어부는 하위에 위치하며 전력 변환부 사이리스터 게이트 신호는 광 전송된다.

2.1.2 CEDM Mock-Up

KNGR-CEDMCS 원형을 시험하기 위하여 CEDM Mock-Up 설비를 제작하였다. CEDM은 UL(Upper Lift), UG(Upper Gripper), LL(Lower Lift), LG(Lower Gripper)의 총 4개의 코일들로 구동된다. 한 스텝 당 3/4 인치 씩 이동하며 보통 15초 당 1 스텝 이동하지만 저 속으로는 15초 당 1 스텝 이동한다.

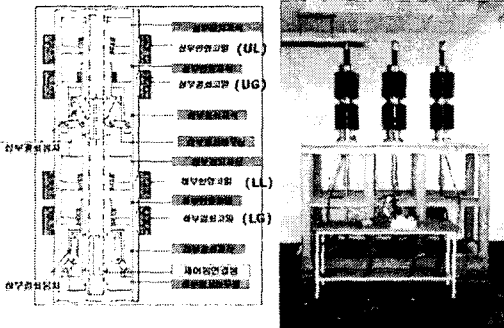


그림 3. CEDM Mock-Up

2.1.3 KNGR -CEDMCS 제어함

원전계측제어시스템 국산화의 일환으로 개발된 원전용 DCS(K-DCS)를 사용하여 KNGR-CEDMCS 제어함을 구성한다. 분산제어시스템은 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 다중

화를 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 통신망으로서 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 4에서는 K-DCS의 전체 구성을 보여 주고 있다.

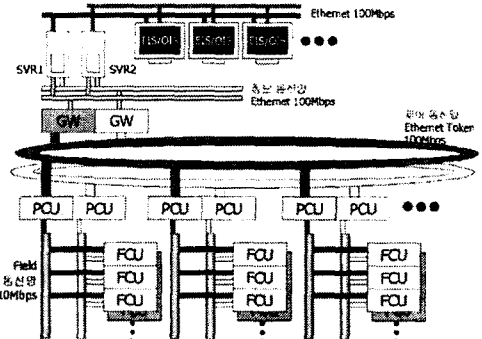


그림 4. K-DCS 전체 구성

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. 하나의 PCU에 연계되는 FCU들이 필드 통신망으로 연결되어 한 FCS(Field Control Station)을 이루어 물리적으로 하나의 함(cabinet) 형태를 취하고 있다. K-DCS FCS 한 대가 제어용 제어시스템의 제어함으로 사용된다. 그림 4에서 각 통신망을 통합하여 데이터 전송 속도를 개선한 구조의 K-DCS를 이용하여 제어함을 구성한다.

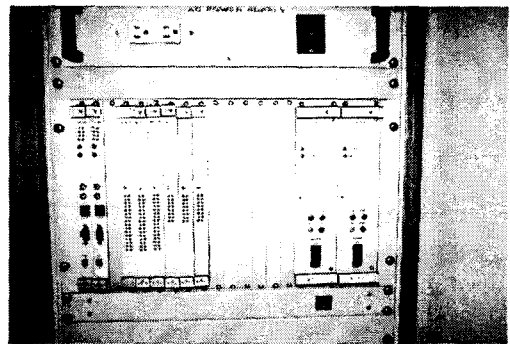


그림 5. 제어함에 사용되는 K-DCS FCS

그림 5에서는 실제 제어함으로 사용되는 K-DCS FCS를 보여주고 있다. 여기에는 필드 제어 모듈(FCM)이 이중화된 FCU 한 기가 설치되어 있는데, 이는 제어용 5개 그룹 동작을 기준으로 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 전용 그래픽 인터페이스를 사용하였고, 운전원 모듈 프로그램이 탑재된 컴퓨터가 Ethernet 이송화 통신으로 FCM과 연결되어 데이터를 송수신한다.

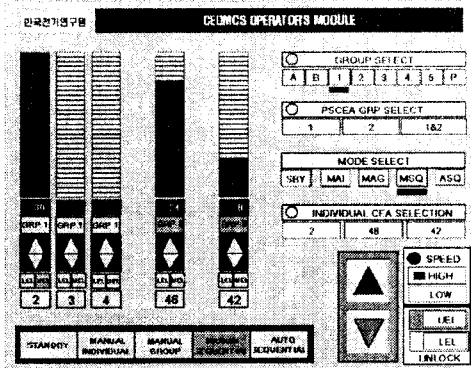


그림 6. 운전원 모듈 화면(그룹 중첩 운전)

그림 6에서는 실제 제어봉 운전 중인 운전원 모듈 화면을 보여 주고 있다. 그림 4의 운전원 모듈 화면을 통해 Auto Sequential(ASQ) 모드를 제외한 Standby(SBY), Manual Individual(MAI), Manual Sequential(MSQ) 모드들을 세 대의 CEDM으로 구현할 수 있도록 하였다. 즉 한 개의 제어봉 Group 동작인 경우는 세 대의 CEDM이 그 Group에 속한 것으로 하여 동시에 움직이도록 하였고, Sequential 모드와 같은 Group 간의 중첩이 요구되는 상황에서는 세 개의 CEDM 각자가 각 Group을 대표하여 세 개의 Group 중첩 운전을 구현한다.

2.2 시스템 통합

2.1.3절의 과정으로 설계된 K-DCS 제어함을 기존의 전력함과 연결하는 시스템 통합 과정을 이 절에서 소개한다.

그림 7은 세 대의 CEDM 별로 연계될 디지털 입출력 신호들을 DIM(32개 채널 소유)과 DOM(16개 채널 소유)의 각 채널에 할당된 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 6은 K-DCS 제어함을 전력함과 통합하여 구성한 CEDM의 실제 동작 모습을 보여 주고 있다. 제어 및 사진의 모니터는 운전원 연계 화면을 보여주고 그 옆은

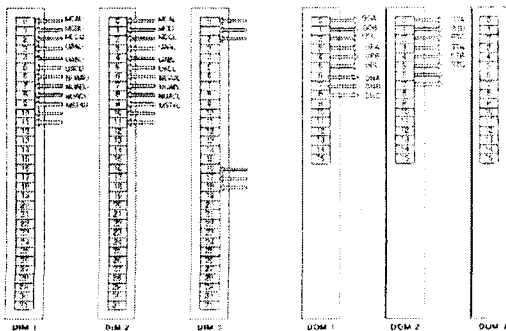


그림 7. DIM과 DOM 각 채널에 할당된 디지털 신호들

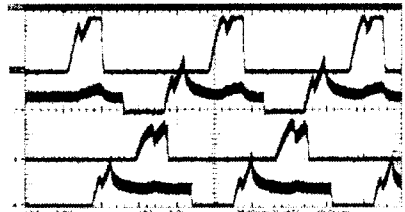
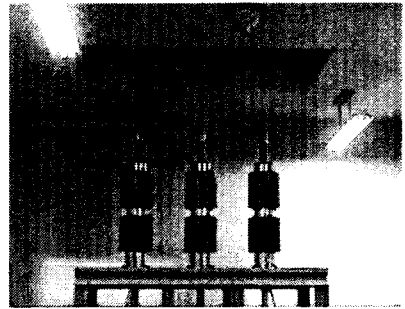
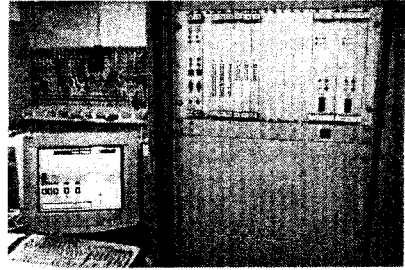


그림 6. 실제 동작 중인 CEDM

K-DCS 제어함이다. 중간 사진은 CEDM 실제 Mock-Up의 동작 모습이고 제일 아래 사진은 CEDM 각 코일에 흐르는 전류 파형들이다. 사진에서 보듯이 K-DCS 제어함에 의한 제어봉 제어시스템이 성공적으로 CEDM을 요건에 맞게 구동시키고 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구원에서 자체 개발한 전력함 원형과 국내 기업에서 개발하고 제작한 원전용 DCS로 제어함을 설계하여 순수 국내 기술력에 의한 KNGR-CEDMCS를 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.

[참 고 문 헌]

- [1] "Yonggwang 3&4 Lesson Materials, Control Element Drive Mechanism Control System," 한국수력원자력(주)
- [2] "Ulchin 5&6, Control Element Drive Mechanism Control System, Technical Manual," Westinghouse, 2000
- [3] 김춘경 외 5명, "나기능을 가진 제어봉 구동장치 전력제어기 개발," 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2215-2217
- [4] 이종무 외 6명, "제어봉 구동장치 제어시스템용 전력함 개발," 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2274-2276
- [5] 김석근 외 4명, "원전용 분산제어시스템의 다중화 구현 및 제어 알고리즘 설계," 제 3회 원자력학회 전기학회 공동주최 계측제어기술 워크샵 논문집, 2003