

공동 제어봉 구동장치 제어기기 설계

천종민, 안종보, 김춘경, 이종우, 권순만  
한국전기연구원

Design of a Common Control Rod Control System(CRCS)

J.M. Cheon, J.B. Ahn, C.K. Kim, J.M. Lee, S.M. Kwon  
Korea Electrotechnology Research Institute(KERI)

**Abstract** - In this paper, we propose a new model with the common Control Rod Control System which can be applied to both Korea Standard Nuclear Power Plant model and Westinghouse model. The common model classified by one control rod assembly can solve the common-mode failure. We digitalize the new model and make existing analog models simplified.

1. 서 론

가압 경수로형 제어봉 제어 계통(CRCS: Control Rod Control System)은 제어 신호에 따라 구동 전력을 적절히 제어봉-구동장치(CRDM: Control Rod Drive Mechanism)에 공급하여 CRDM에 부착된 제어봉-집합체(CRA: Control Rod Assembly)를 운동시킨다. 중성자 흡수체인 제어봉들이 노심 내에서 상하운동을 하면서 원자로 출력이 제어된다. 또한 비상 상황시에는 CRDM으로의 전원을 차단하여 제어봉들을 노심으로 자유낙하 시켜서 원자로를 안전하게 정지시키는 역할도 수행한다[1, 2, 3].

현재 국내 가동 원전의 두 주류인 KSNP(Korea Standard Nuclear Power Plant) 모델과 Westinghouse(이하 W/H) 모델은 기계적, 전기적으로 그 구조가 서로 달라서 시스템 파악 및 개보수에 혼란을 가져온다. 이에 두 모델에 모두 적용 가능한 공통 모델의 필요성이 부각되었고, 이를 위하여 각 기능의 비교, 분석을 통해 공통 요소들을 취합하고 상이한 부분을 통일할 수 있는 방안을 모색하였다. 결과적으로 기구적 최소 단위인 CRA를 완전 독립시킨 형태가 공통 적용에 가장 유리하다는 결론을 얻었다.

공통 모델의 설계 목적인 공통 적용 가능성을 볼 때, KSNP 모델은 불완전 독립 CRA 구조를 가지므로 [2, 5] 적용에 큰 어려움을 없을 것이고, CRA들의 모임인 Group 별로 독립된 구조를 취하고 있는 W/H 모델[1]은 동일 Group에 속한 독립 CRA들이 동시에 운전되도록 하여 적용한다.

본 논문은 공통 모델의 CRCS 중 CRDM의 전력 제어 및 감시 유닛(PCAMU: Power Control And Monitoring Unit)에 대한 내용을 다룬다.

2. 본 론

2.1 제어봉 제어 계통(CRCS)

공통 모델 CRCS의 특징은 수평적으로 개별 독립 CRA 구조와 수직적으로 2층 구조를 가지고, 상부 제어 계층인 주제어 유닛(MCU: Main Control Unit)과 하부 제어 계층인 전력 제어 및 감시 유닛(PCAMU)으로 나뉜다.

MCU에서는 출력 제어 계통에서 결정된 제어봉 속도 및 방향 등의 일반적인 명령을 받아서 제어봉의 동작 구

현을 위한 구체적인 제어 명령을 추론한다. 기존 모델에서는 논리 제어함(Logic Cabinet)에 해당하며, 공통 모델에서는 PLC나 DCS로 MCU를 설계한다.

PCAMU는 MCU로부터 오는 명령에 따라 제어봉을 동작시키기 위하여 3상 교류 전원을 순차적으로 크기가 제어된 직류 펄스 전류를 제어봉-구동장치(CRDM: CRA Drive Mechanism)에 공급한다. 그리고 CRDM이 제대로 운전되고 있는지 코일 전류나 전압 등을 측정하여 감시하는 기능을 수행한다. 기존 모델에서는 전력 제어함(Power Cabinet)에 해당하며, 공통 모델에서는 기존의 아날로그 회로를 마이크로 프로세서 기반으로 디지털화한다.

2.2 전력 제어 및 감시 유닛(PCAMU)

PCAMU는 CRA 별로 제어가 완전히 독립되고, 다른 CRA들과의 연계에 관련된 기능은 모두 상부 제어 계층인 MCU에서 담당한다. 이러한 독립 CRA 모듈 구조는 공통 적용 설치가 용이하고, 단위 고장 확대를 최소화할 수 있는 최적의 방안이 될 수 있다.

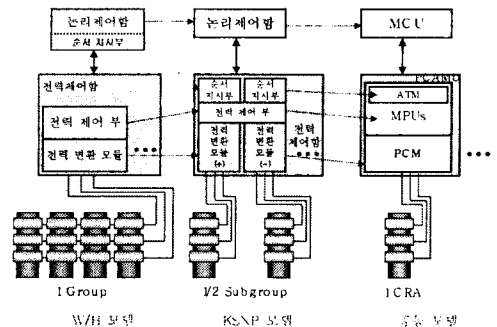


그림 1. 기존 모델들과 공통 모델의 비교

그림 1에서는 기존 모델들과 공통 모델을 제어봉-구동장치 제어기기를 들어서 비교하고 있다. W/H 모델은 1개 Group 전체를 하나의 전력 제어/변환 부로 운전하며, KSNP 모델은 제어봉-집합체 개별 운전은 가능하지만, 전력 회로적으로 완전히 독립적이지 못하고 하나의 전력 제어부로 2개의 제어봉-구동장치를 양(+), 음(-)의 반주기 씩 배분하여 운전한다. 반면 공통 모델은 하나의 CRA가 개별적으로 PCAMU를 가지고 있는 완전 독립 구조인 것을 알 수 있다.

그림 2에서는 하나의 독립 CRA 모듈(ICM: Independent CRA Module)을 보여 주고 있다. MPUs(Microprocessor Units)는 전력 제어 및 감시 기능을 하나의 유닛에서 담당할 수도 있고, 제어-MPU와 감시-MPU로 분리하여 구성할 수도 있다.

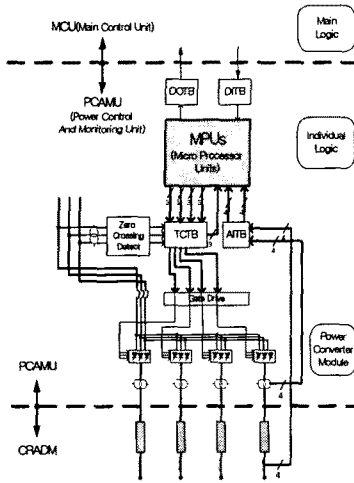


그림 2. 독립 CRA 모듈

### 2.3 제어반

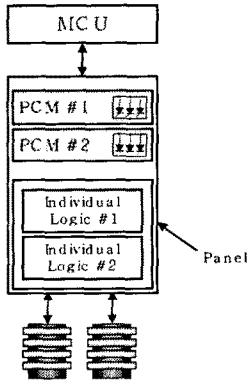


그림 3. 1-Panel

그림 3에서는 공통 모델 제어반의 최소 단위인 1-Panel을 보여 주고 있다. 1-Panel은 2개의 ICM들을 포함하는 구조로 2개의 ICM의 Individual Logic들을 포함하는 Logic Housing과 개별 전력 변환 모듈(PCM: Power Converter Module) 두 개로 구성되어 있다. 이는 현재 제작된 CRCS prototype을 기초로 한 것이다.

### 2.4 KSNP 모델로의 적용

앞에서도 언급하였듯이 KSNP 모델은 하나의 상제어기와 전력 제어부(CDAL)가 2개의 제어봉-구동장치를 운전하는 불완전 제어봉-집합체 독립 구조이다. 이들 상제어기와 CDAL 기능을 하나의 제어봉-집합체 별로 분리하여 각각의 MPU에 S/W적으로 프로그램하여 KSNP용 공통 모델을 설계한다. 프로그램의 전력 제어 과정은 기존의 ACTM과 4-코일 제어봉-구동장치 제어 알고리즘을 바탕으로 작성한다.

그림 4에서는 윗부분의 기존 W/H 모델 1/2 Subgroup 전력 회로가 아랫부분의 공통 모델로 대체된 모습을 보여 주고 있다. 아날로그 회로로 복잡하던 계통이 마이크로 프로세서 기반 디지털 계통으로 바뀌면서

구조가 훨씬 간결해진 것을 알 수 있다.

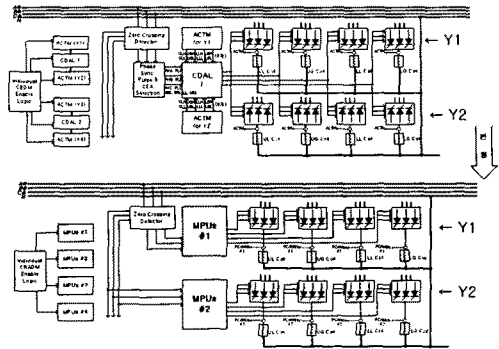


그림 4. 공통 모델의 KSNP 모델로의 적용

HCT로 측정된 코일 전류는 구동장치의 올바른 동작에 대한 감시 및 제어 프로그램 중, 순서 지시 과정(Timing Process)에서 참고하여 다음 제어 명령 지령시점을 결정하는데 사용된다. 3상 반파 정류기 단에서 HPT로 측정된 전압은 제어봉-구동장치에 제대로 전압이 공급되는지 감시한다[2, 4].

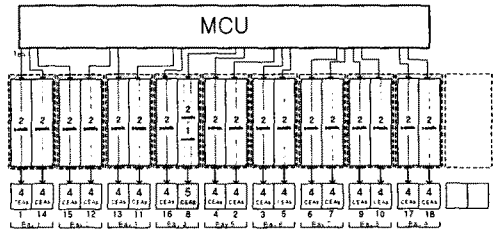


그림 5. 공통 Panel들로 구성된 KSNP 전력 제어함

KSNP 모델의 전력 제어함의 경우에는 2개의 Subgroup(8개의 제어봉-집합체)으로 구성된 하나의 Bay를 단위로 한다. 그러므로 4개의 Panel로 하나의 Bay를 만들 수 있다. 그림 5에서는 공통 Panel들로 구성된 KSNP 모델의 전력 제어함 전체를 보여 주고 있다.

### 2.5 W/H 모델로의 적용

W/H 모델은 하나의 전력 제어부가 여러 개의 제어봉-구동장치를 운전하는 Group 독립 구조이다. 그리고 순서 지시부가 논리 제어함에 속해 있는 것이 특징이다. 순서 지시부의 순차적 전류 지령 개념을 순서 지시 과정으로 MPU에 프로그램화하고, 3-코일 제어봉-구동장치 제어 알고리즘을 바탕으로 전력 제어 과정을 프로그램한다.

그림 6에서는 윗부분의 기존 W/H 모델 전력 회로가 아랫부분의 공통 모델로 대체된 모습을 보여 주고 있다. 역시 디지털화되면서 간결해진 구조를 보이고 있으며, HCT로 측정된 코일 전류들은 순서 지시 과정에서 생성한 지령치와 비교하여 그 오차로 점호각을 제어하는 변환 제어에 쓰인다. 동시에 전류의 파형을 조사하여 구동장치의 동작을 감시하는데 사용될 수 있다. 3상 반파 정류기 단에서 측정된 전압은 정류기의 사이리스터 고장 여부를 감시한다[1]. MCU에서는 한 Group으로 구분된 모든 ICM들에 동시에 동작 명령을 보내어 Group 동시 동작이 이루어지도록 한다.

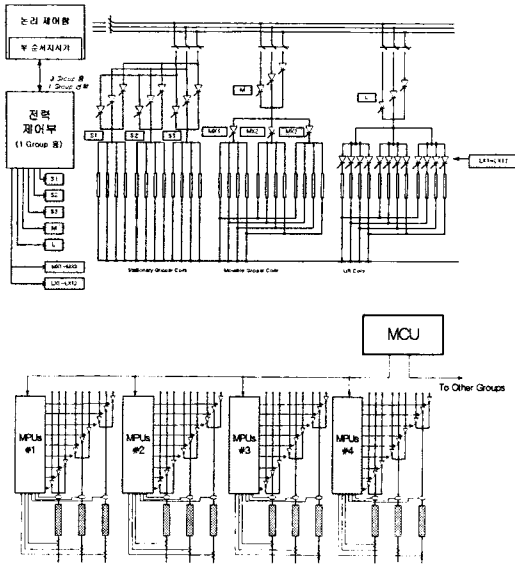


그림 6. 공동 모델의 W/H 모델로의 적용

그림 7에서는 공통 Panel들로 구성된 W/H 모델의 전력 제어함 전체를 보여 주고 있다. W/H 모델에서는 1~3개의 Panel들을 결합하여 각 Group을 구성하고, 2~3개의 Group들이 모여서 하나의 전력 제어함 단위가 만들어진다.

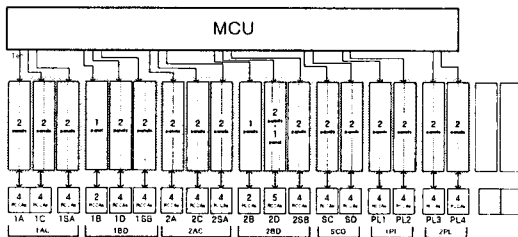


그림 7. 공동 Panel들로 구성된 W/H 모델 전력 제어함

### 2.6 시뮬레이션

그림 8에서는 W/H 모델의 제어봉 인출 과정에서 각 코일에 흐르는 전류와 그 지령치들에 대한 시뮬레이션 결과를 보여 주고 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 국내 가동 원전에 모두 적용 가능한 공동 제어봉-구동장치 제어기기(CRCS) 중 제어봉-구동장치(CRDM)의 전력 제어 및 감시 유닛(PCAMU)에 대한 내용을 다루었다. 완전 독립 제어봉-집합체 구조를 가지고 불완전 독립 제어봉-집합체 구조인 KSNP 모델과 Group 독립 구조인 W/H 모델에 모두 적용 가능함을 보였다. 그 과정은 MCU와 PCAMU-MPUs의 S/W적 논리 수정과 PCAMU-PCM의 H/W적 구조 변경만으로 용이하게 이루어진다. 단일 고장이 Group 공통 고장으로 이어지는 W/H 모델의 단점을 독립적 분산 구조로 보완하고, 기존의 아날로그 회로의 복잡했던 계통을 디지털화하여 간결히 한다.

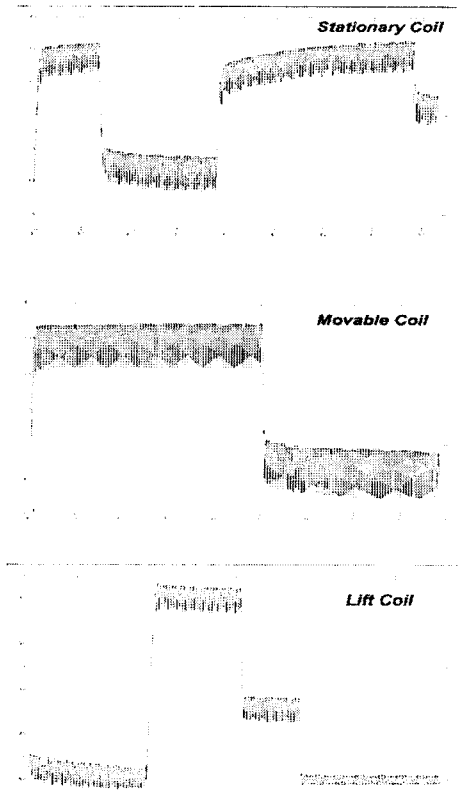


그림 8. W/H 제어봉 구동장치(3 코일타입) 코일전류 (제어봉 인출 시)

본 연구는 과기부 산하 원전계측제어시스템 개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 제어봉제어설비(I, II), 한수원 원자력연수원, 1991.
- [2] Lesson Materials For CEDMCS for YKG 3&4.
- [3] 박광석 외, "경수로 제어봉 구동장치용 새로운 전력 제어 시스템," 제어계측, 자동화, 로봇기술연구회합동학술발표회, pp. 221-224, 1997.
- [4] 박현신 외, "ACTM 성능 시험을 위한 Simulator 개발," pp. 1253-1256, Proc. of the 13th. KACC, 1998.
- [5] Technical Manual for CEDMCS for UCN 5&6, Westinghouse, 2000.