



제어봉 구동 장치 제어 시스템 개발

권순만

한국전기연구원 전력연구단 계측제어연구그룹 그룹장

서론

1978년 고리 원전 1호기 상업 운전을 시작으로 국내 전력 생산의 40% 이상을 담당하고 있는 원자력 발전 기술의 기술 자립 노력은 끊임없이 지속되어 왔으며 많은 부분에서 괄목할 만한 성과를 이루었다.

특히 원전용 계측 제어 시스템 기술 분야에서도 활발한 기술 개발 활동이 이루어져 원전용 Total I&C 국산화의 기치를 내건 국가적 개발 사업인 원전계측제어시스템(KNICS) 개발 사업이 2001년도부터 진행되어 많은 성과를 도출하고 있다.

본고에서는 이 KNICS 개발 사업의 하나로서 전기연구원과 두산중공업(주)가 개발하고 있는 원자로의 출력을 제어하는 핵심 설비의 하나인 제어봉 구동 장치 제어 시스템의 개발 기술 및 현황을 소개하고자 한다.

제어봉 구동 장치 개요

원자력 발전에서 전기 생산을 위해 필요한 에너지를 생산하는 원자로는 내부의 핵반응을 적절하게 제어하기 위한 수단으로 제어봉을 이용하여 이 제어봉은 전자기적 원리를 이용한 기계 장치인 제어봉 구동 장치에 의해 원자로 내부로 삽입 또는 인출되도록 제어된다.

국내에서 사용되고 있는 제어봉 구동 장치는 2가지로서 고리 원전 1~4호기, 울진 원전1,2호기, 영광 원전1,2호기에 장착된 3-코일형 제어봉 구동 장치(CRDM; Control Rod Control Mechanism이라고 부름)와 나머지 국내 가동원전 및 차세대 원전에 장착되는 4-코일형 제어봉 구동 장치(CEDM; Control Element Drive Mechanism이라고 부름)가 있다.

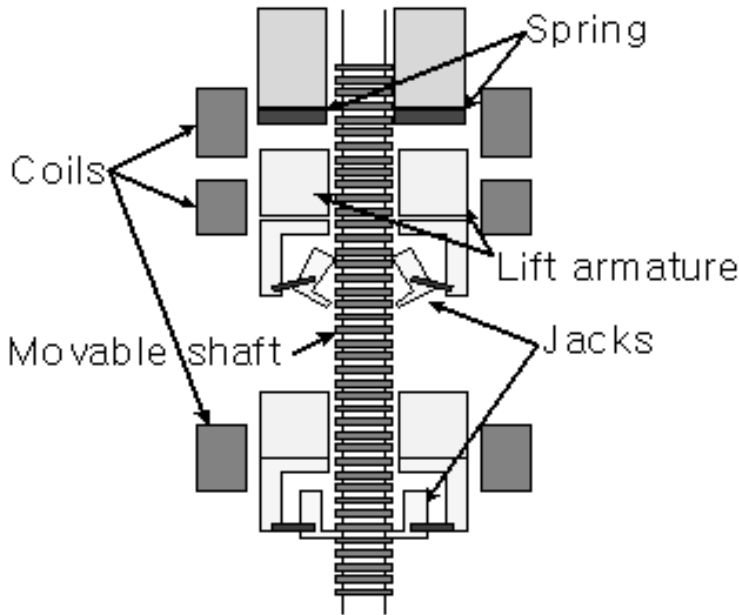
하나의 원자로에는 적게는 20여 개, 많게는 101개까지 장착되도록 되어 있다.

〈그림 1〉에 CRDM의 구조를 표시하였는데, 그림에서 알 수 있는 바와 같이 하나의 구동 장치에는 외부에 3개의 코일이 설치되어 있다.

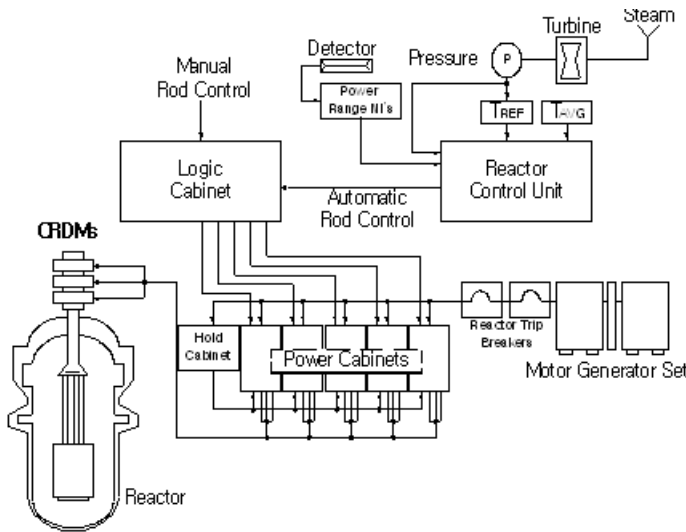
제어봉 구동 장치는 특정한 모양의 전압 또는 전류를 상기한 코일에 순차적으로 가하여 전자기적인 작용을 통해 내부에 있는 기계적인 기구를 움직여서 결과적으로 내부에 있는 구동축을 위 아래로 움직여 제어봉을 이동시키게 된다.

또한 하나의 원자로에 설치된 다수의 제어봉들은 적절한 원자로 보호 및 열출력 분포 특성을 갖게 하기 위해 미리 정해진 순서와 묶음(Grouping)을 통해 정해진 동작에 따라 움직이게 되는데 이러한 일련의 제어 동작을 수행하는 것이 바로 제어봉 구동 장치 제어 시스템이다.

제어봉 구동 장치 제어 시스템은 앞서 설명한 구동 장치 구조에 따라 RCS(Rod Control System) 또



<그림 1> CRDM 구조



<그림 2> 일반적인 RCS 연계도

는 CEDMCS(CEDM Control System)으로 불린다.

KNICS 사업에서 수행하고 있는 관련 개발은 이 두 가지 모델을 모두 개발하여 국내 가동 원전의

개·보수 및 신규 원전 건설에 실 적용하는 것을 목표로 하고 있다.

RCS는 2004년도에 기기 검증 및 실증시험을 포함한 상용화 기술 개발까지 완료하여 실적용을 기다

리고 있으며 CEDMCS를 포함하는 원자로 출력 제어시스템 개발이 진행되어 막바지 단계에 와있다.

본고에서는 이미 개발을 완료하고 상용화를 준비 중인 RCS 개발품을 중심으로 기술을 소개하고자 한다.

RCS 개발품 구성 및 특징

RCS를 개발하는 데 가장 중요한 요소 중의 하나는 신뢰성이다.

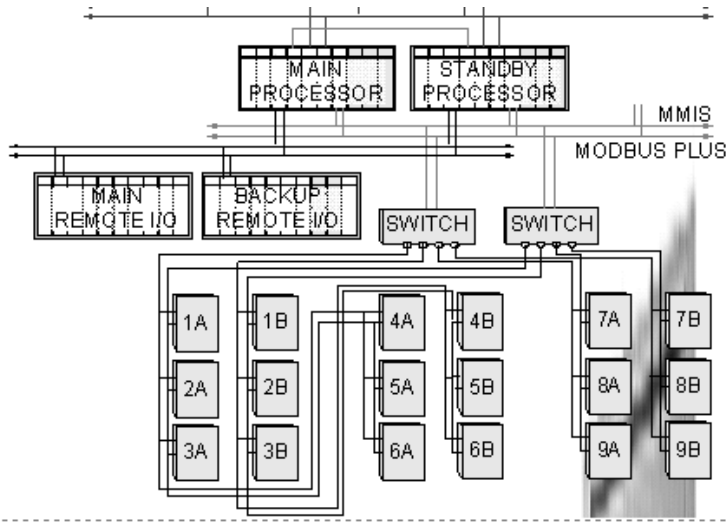
이것은 RCS의 고장이나 오동작은 제어봉의 낙하를 야기할 수 있고 이것은 결국 원자로의 안전을 위해 원자로 출력을 낮추거나 원자로를 정지시키게 되며 결과적으로 발전소가 정지되어 전력 생산을 못하게 되어 막대한 경제적 손실을 유발하게 된다.

따라서 RCS는 고품질의 고신뢰 시스템으로 개발되는 것이 필수적이다.

<그림 2>는 일반적인 RCS의 연계 형태를 나타내고 있는데, 그림에서 보는 바와 같이 RCS는 논리함(Logic Cabinet)과 전력함(Power Cabinet)으로 구성되어 있다.

현재 상용화되어 적용되어 있는 RCS는 단일(Simplex) 제어기 형태를 가지고 있다.

그러나 본 연구 개발에서는 신뢰성을 향상시키기 위해 산업에서 활발하게 이용하고 있는 다중화(Redundancy) 개념을 적용하였다.



<그림 3> 개발품 구조

<표 1> 개발품의 주요 특징

| 특징 | 주요 기능 |
|---------------------------|--|
| 디지털 시스템 | - 논리함 제어기 : PLC - 전력함 제어기 : TI TMS320 Series |
| 고신뢰성 | - 논리함 제어기는 Hot-standby 형식 이중화 - 전력함 제어기는 Master/Slave 방식 이중화 - Fault-Tolerant 통신망 및 전원 이중화 - Double-Hold Mode 구현 |
| 우수한 유지 보수성 우수한 사용자 편의성 | - Drawer 형태의 전력 변환 모듈 - 전력 변환 모듈의 통일 - Hold Power Supply 제거 - 온라인 유지 보수용 MMIS 설치 - 전력함 제어기 카드 종류 단순화(5종) - 타카드 삽입 방지 기능 |
| 자기 진단 및 | - MMIS 구비 - 코일 전압/전류 감시 및 저장 기능 - Event Logging 기능 |
| 감시 기능 | - 자기 진단 및 감시 기능 - 전력 소자 및 퓨즈 Fault 감시 - Power Supply Fault 감시 - 코일 건전성 감시 |
| 기타 | - 이동 검출 기능 - 제어봉 Drop Time 테스트 기능 |

이것을 <그림 3>에 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 논리함 제어기는 MAIN/STANDBY 프로세서와 MAIN/BACKUP 원격 I/O, 그리고 MMIS로 구성되며, 전력함 제어기는 1A&1B, 2A&2B 등의 형태로 각각 구성되는데, 이러한 이중화 구성은 단일고장에 따른 오동작을 방지하게 되어 신뢰성이 크게 향상된다.

특히 이중화 제어기 간에는 상호 감시가 상시 이루어져 상호 간 Bumpless 절체가 이루어지고 특히 Hot Swapping이 가능하도록 설계하여 가용성 및 유지 보수성을 크게 향상시켰다.

개발 제품의 특징을 간략히 나타내면 <표 1>과 같다.

개발품 시험

<그림 4>는 개발품의 외관을 보여준다. 맨 오른쪽 함이 논리함에 해당하며 나머지 5개의 함은 전력함에 해당된다.

전력함의 개수는 구동하고자 하는 제어봉 구동 장치의 개수에 따라 추가 또는 감소된다.

개발품은 원자력에서 요구하는 품질 기준을 만족하기 위해 개발에서의 각 단계별 절차를 준수하여 개발되었으며, 특히 원자력에서 필요한 기기 검증을 USNRC Reg. Guide 및 IEEE 323, 324, 그리고 EPRI TR 102323 R2 등에 따라 공인 시험을 수행하여 안전 등급



<그림 4> 개발품 외관



가. 시뮬레이터



나. CRDM Mockup

<그림 5> 성능 시험용 설비

기준의 높은 품질 기준을 만족하였다.

또한 <그림 5>에서 보는 바와 같은 시뮬레이터 및 CRDM Mockup을 자체 제작하여 Hard-ware-in-the-loop 형식의 기능 시험을 수행하였으며, 100일 이상 동안에 걸쳐 원전 운전 주기 100회에 해당하는 장시간 연속 운전 시험을 수행하여 그 신뢰성을 확인하였다.

앞으로의 방향

앞에서 설명한 RCS 개발품은 실 적용을 목표로 개발되었기 때문에 유지 보수, 현장 설치 및 운전을 위한 엔지니어링, 내환경 등이 충실히 고려되었다.

특히 현장 유지 보수를 자동화하고 신속하게 하기 위한 유지 보수 지원 장비도 자체 개발을 완료하였다.

따라서 앞으로 국내 관련 발전소에 신규 교체 수요가 있을 경우 즉

각 공급 가능한 상태이다.

상기한 개발품은 앞서 설명한 바와 같이 RCS에 해당하며 CEDM-CS에 해당하는 시스템은 현재 원자로 출력 제어 시스템 개발의 일부로써 개발 중이며 금년 중에 개발 완료할 예정이다.

이 원자로 출력 제어 시스템 개발 기술에 대한 소개는 다음으로 미룬다.

