

다기능을 가진 제어봉 구동장치 전력제어기 개발

김춘경\*, 박만국\*, 김석주\*, 이종무\*, 권순만\*, 남정환\*\*  
 한국전기연구원\*, 두산중공업(주)\*\*

Development of a Power Control Unit for CRDM

C.K.Kim\*, M.K.Park\*, S.J.Kim\*, J.M.Lee\*, S.M.Kweon\*, J.H.Nam\*\*

Korea Electrotechnology Research Institute(K.E.R.I.)\*, Doosan Heavy Industries & Construction Co.,Ltd.\*\*

**Abstract** - In this paper we describe a Control Rod Control System(CRCS) with the various functions for the test and operation of Control Rod Drive Mechanism(CRDM). The CRCS controls the motion of the full length rod drive mechanisms in response to signals from the Reactor Operator and the Reactor Regulating System. The mechanisms are grouped and identified as being for either Shutdown Banks or Control Banks. The CRCS also provides information regarding rod motion, rod position, and status of the Rod Control System. Also we have implemented the diverse functions in the developed CRCS. Due to the developed CRCS, we are assured that the commercial operation by this system be made before long.

주 한 계열은 실제 냉각제 평균온도와 정해진 기준온도를 비교하게 되고, 다른 계열은 원자로 노심온도 부티의 열출력율과 터빈의 출력율을 비교한다. 이들 오차 요구량의 합은 제어봉 속도 및 방향 결정을 위한 요구 신호를 발생시킨다. 제어봉 속도 및 방향요구 신호는 MCU에 입력되어 적절한 순서로 제어 신호가 발생되어 PCU로 보내지고 PCU에서는 제어봉 구동장치의 각 코일에 전력을 공급하게 된다. 그림 2.1은 기본적인 제어봉 구동장치 제어 시스템의 블록 및 신호 흐름도를 나타내고 있다.

1. 서 론

제어봉 구동장치 제어시스템은 원자로 운전원이나 원자로 제어시스템으로부터 제어 신호를 받아 제어봉 구동장치(CRDM; Control Rod Drive Mechanism)를 동작시킨다. 이 장치들은 4개의 제어 bank와 4개의 정지 bank들로 나누어진다. 각 bank는 한 개 이상의 그룹으로 구성되어 있으며, 각 그룹은 동시에 한 step씩 움직이도록 전기적으로 병렬로 연결된 몇 개의 기구로 되어 있다. bank 내에 각 그룹은 교대로 동작하도록 하여 그룹들 사이에는 차이가 항상 한 step 이내에 있게 된다. 제어봉 구동장치 제어시스템은 3 종류의 운전 코일을 동작시켜 구동봉을 유지, 삽입, 인출하게 한다. 3종류의 운전 코일은 정지 집게 코일, 이동 집게 코일, 올림 코일이다. 본 논문에서는 1개의 그룹(4개 제어봉 기준) 운전이 가능한 제어봉 구동장치 제어기용 전력제어기에 대하여 소개하고 이를 이용한 제어봉의 정상운전 및 구분 동작 기법, 또한 각종 고장 진단 등에 대하여 기술한다. 제어봉 구동장치 제어시스템의 일반적인 구성은 상위에서 운전 모드에 따라 하위로 운전 명령 신호를 발생시키는 Main Control Unit(MCU)과 상위에서 온 명령에 따라 제어봉 구동장치를 운전하게 하는 PCU(Power Control Unit)로 대별된다. 본 논문에서 제시하는 제어봉 구동 제어 시스템은 상위의 MCU로 PLC를 이용하고 하위의 PCU로는 DSP based 디지털 제어기를 사용하여 구성되어 진다. 본 논문에서 제시한 제어봉 구동장치용 전력제어 시스템은 사용 환경이나 사용자의 요구 등과 같은 약간의 현장 맞춤 후에는 실 적용이 가능한 수준으로 개발되었다.

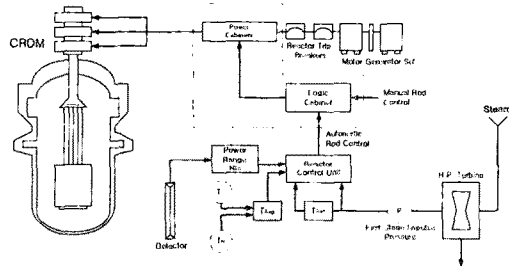


그림 2.1 기본적인 CRCS의 Block 및 신호 흐름도

2.2 전력제어기의 구성

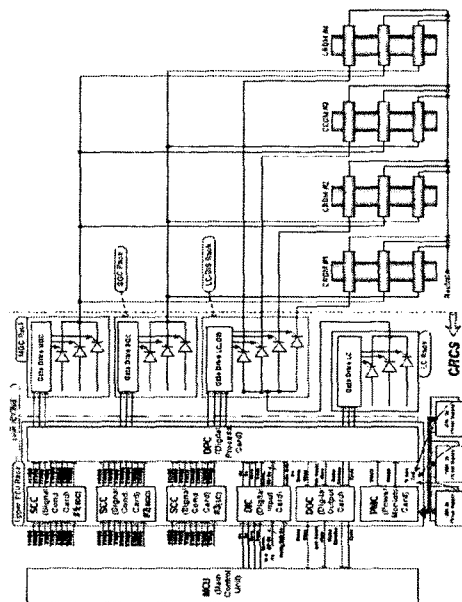


그림 2.2 전력제어기 구성도

2. 본 론

2.1 전력제어기의 일반 기능

원자로 제어장치는 2가지 오차신호 계열로부터 발생하는 요구량에 따라 제어봉의 속도 및 방향을 결정한다.

그림 2.2는 제어봉 구동장치 제어시스템의 전력제어기 부분의 구성도를 나타내고 있으며, 그림 2.2로부터 알 수있듯이 상위의 MCU로 PLC를 사용하고 하위의 DPC(DSP Processing Card)에는 2개의 DSP를 탑재 하였다. MCU와 DPC 사이에는 신호연계를 위해 SCC(Signal Conditioning Card) 3장, DIC(Digital Input Card) 1장, DOC(Digital Output Card) 1장 및 PMC(Power Monitoring Card) 1장이 사용되었다. 상위 PLC로부터 DPC로 오는 명령신호는 계전기의 접점을 사용하여 두 시스템 사이의 전기적 절연을 가능 하도록 하였으며, 절연된 명령신호는 디지털 입력 카드(DIC)를 거쳐 DPC의 Data Bus로 입력된다. 이러한 명령입력 신호에는 방향신호 펄스(Up/Down)와 Go 펄스 및 Reset 신호 등이 있다. 하위의 DPC 제어기는 상위로부터 온 명령에 따라 제어봉을 동작시키기 위한 제어 전압을 Gate Drive로 보내 순서에 따라 코일을 여자시킨다. 하위의 제어기에서는 상위에서 온 명령을 완료하면 상위로 동작완료 펄스를 디지털 출력 카드(DOC)를 통하여 상위로 올려 보낸다. 이외 DOC를 거쳐 상위로 보내지는 신호에는 긴급/비긴급 고장에 대한 신호가 있다. Power Converter Module은 사이리스터를 사용한 3상 반파 제어정류기로서 각각 정지, 이동, 및 올림 코일에 전류를 공급하게 된다. 이들 Power Converter Module은 서랍형으로 개발되어 고장시 교체 등과 같은 유지, 보수가 용이하게 하였다. 또한, 4개의 사이리스터를 탑재하여 개별 제어봉 운전을 위한 올림코일 차단 스위치로 사용하도록 하였다. 전류의 피드백 제어를 위하여 전류센서(HCT)를 사용하였고, 사이리스터의 고장여부를 검사하기 위하여 전압센서(HPT)를 사용하였다.

### 2.3 전력제어기를 이용한 시험

개발된 CRCS용 전력제어기를 이용하여 제어봉 구동장치 Mock-Up에서 시험을 행하였다. 제어봉 구동장치 Mock-Up은 Group 운전(4개의 제어봉 운전)이 가능하도록 4개의 코일들이 병렬로 연결되어 4개의 제어봉이 동시에 운전되도록 하였다. 개발된 전력함은 3개의 그룹을 운전할 수 있는 형태이며 제어봉 구동장치 Mock-Up을 제외한 나머지 그룹의 운전을 위해 제어봉을 모의한 R/L 부하를 설계 제작하였다. 이러한 R/L 부하는 각각 정지 Gripper 코일, 이동 Gripper 코일 및 올림 코일을 모의한 것이다.

#### 2.3.1 시험장치 구성

그림 2.3은 전체 시험장치의 구성도를 나타낸 것으로, R/L 부하와 CRDM Mock-Up을 포함하고 있다.

전력제어기의 성능 시험을 위한 제어봉 구동장치의 Mock-Up은 그림 2.4와 같은 구조로 되어 있으며, 그림 2.5는 제작된 6기의 제어봉 구동장치 Mock-Up을 나타낸 사진이다. 제작된 제어봉의 1 Step의 길이는 16mm 이고 정지 gripper 코일을 8A로 여자하면 1.6mm 위로 움직이도록 설계되어 있다. 전체적으로 이동할 수 있는 Step 수는 총 30 Step으로 제작되어 있다. 또한 실제 원자력 발전소에 설치되어 있는 제어봉 구동장치의 부하를 고려하여 130Kg(20Kg 6개와 10Kg 1개로 구성)의 부하를 단계적으로 인가할 수 있도록 제작하였다. 제작한 제어봉 구동장치의 전기적 특성은 참고문헌에 나타나 있으며, 제어봉 구동장치의 인출과 삽입 동작은 각각 아래와 같은 순서를 통해서 이루어 진다.

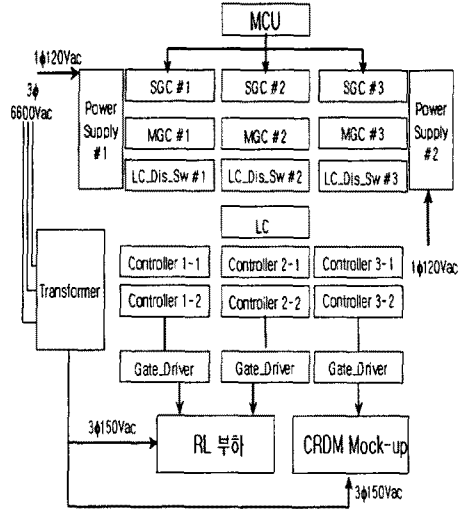


그림 2.3 시험장치 구성도

#### 가. 인출 순서(Step 2~9 반복)

- 1) : SG Coil Energized to 4.4 Amp
- 2) : MG & SG Coil Energized to 8 Amp(↑1.6mm)
- 3) : SG Coil Deenergized(↓1.6mm)
- 4) : Lift Coil Energized to 40 Amp(↑16mm)
- 5) : SG Coil Energized to 8 Amp(↑1.6mm)
- 6) : Lift Coil Profiled to 16 Amp
- 7) : MG Coil Deenergized
- 8) : Lift Coil Deenergized
- 9) : SG Coil Profiled to 4.4 Amp(↓1.6mm)

#### 나. 삽입 순서(Step 2~10 반복)

- 1) : SG Coil Energized to 4.4 Amp
- 2) : SG Coil Energized to 8 Amp(↑1.6mm)
- 3) : Lift Coil Energized to 40 Amp
- 4) : MG Coil Energized to 8 Amp
- 5) : Lift Coil Profiled to 16 Amp
- 6) : SG Coil Deenergized(↓1.6mm)
- 7) : Lift Coil Deenergized (↓16mm)
- 8) : SG Coil energized to 8 Amp(↑1.6mm)
- 9) : MG Coil Deenergized
- 10) : SG Coil Profiled to 4.4 p(↓1.6mm)

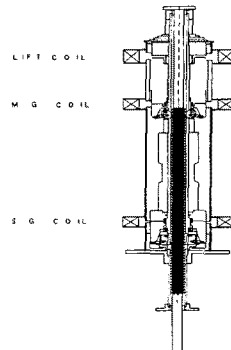


그림 2.4 제어봉 구동장치의 구조도

### 2.3.2 점호각 인가 시험

그림 2.6은 올림 코일을 사용하는 대신 1K $\Omega$  저항 성분을 연결하여 점호각을 직접 인가하여 최대 점호각(자연각 0도)에 해당하는 카운터 값을 알아내는 방법의 한 예로 위의 신호는 전류, 아래 신호는 저항 양단에 걸리는 전압을 나타낸 것이다. 영전류(점호각 90도)와 최소 점호각(최대의 negative forcing을 제공하는 전기각)에 해당하는 카운터 값은 코일 부하를 사용하여 찾아내며, 이 경우 스텝다운 시 falling 시간이 가장 짧은 경우에 해당하는 값이 최소 점호각이 된다. 이와 같은 방법을 통하여 제어봉 구동장치의 안전한 작동 범위 내의 점호각 설정을 용이하게 할 수 있다.

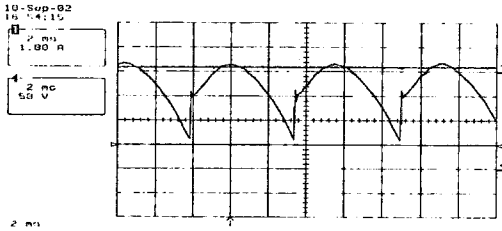


그림 2.6 일정 점호각 인가시의 전압, 전류 파형

### 2.3.3 스텝 응답 시험

그림 2.7과 그림 2.8은 올림 코일에서의 전류 명령에 대한 스텝 응답 신호를 나타낸 것으로 그림 2.7은 Step Up(0 $\rightarrow$ 1), 그림 2.8은 Step Down(1 $\rightarrow$ 0)의 경우이며 위의 첫째 신호는 올림 코일 전류, 가운데는 이동 집게 코일 전류, 아래 신호는 올림 코일 전류명령을 각각 나타내고 있다. 그림 2.7과 그림 2.8에서 이동 집게 코일이 여자되어 이동 집게가 구동봉을 잡고 있는 상태에서 올림 코일에 전류를 인가하면 구동봉과 함께 제어봉 집합체는 한 스텝(16mm) 올라가게 되고, 한 스텝 올라가 있는 상태에서 이동 집게가 구동봉을 잡고 있을 때 올림 코일의 전류를 제거하면 제어봉 집합체가 한 스텝 내려오게 된다. 이러한 스텝 응답 특성 시험을 통하여 PI 제어기의 이득 조정이 쉽게 이루어진다. 한편 그림 2.7과 그림 2.8에서와 같이 코일 별로 전류 명령을 인가함으로써 제어봉의 인출, 삽입을 구분동작으로 할 수 있기 때문에 각 단계에서 발생하는 기계적, 전기적 이상 현상을 쉽게 찾아낼 수가 있다.

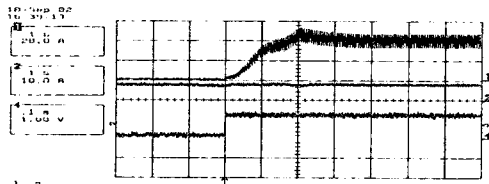


그림 2.7 올림 코일에서의 전류 응답신호(Step Up)

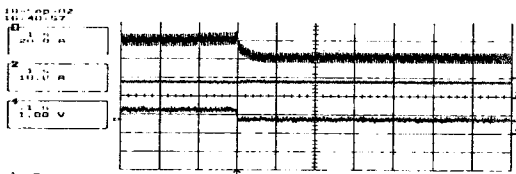


그림 2.8 올림 코일에서의 전류 응답신호(Step Down)

### 2.3.4 정상운전 시험

그림 2.9와 그림 2.10은 정상 운전 시의 시험 파형으로 그림 2.9는 한 스텝 인출, 그림 2.10은 한 스텝 삽입 시의 각 코일의 전류신호를 나타내고 있다. 그림 2.9와 그림 2.10에서 위에서부터 올림 코일 전류, 이동 집게 코일 전류, 정지 집게 코일 전류 및 정지 집게 코일 전류 명령을 각각 나타내고 있다. 제어봉 인출과 삽입 시 한 스텝의 이동은 정해진 시간(780msec) 내에 일련의 8 내지 9단계로 이루어진다.

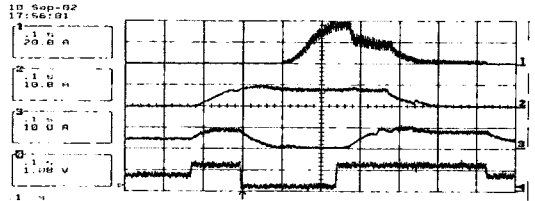


그림 2.9 3종류 코일에서의 전류신호(제어봉 인출시)

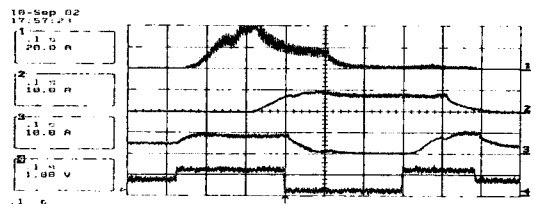


그림 2.10 3종류 코일에서의 전류신호(제어봉 삽입시)

### 2.3.5 기타 기능

그림 2.3에서 나타난 바와 같이 개발된 제어기는 2중화로 설계, 제작되어 운전 중에도 고장이 발생한 구성품을 교체할 수 있어 유지, 보수가 쉽고 각종 고장 정보를 Local Operating Module에 현시할 수 있어 고장 종류를 쉽게 알아낼 수 있다. 또한 Event 발생시 발생 전후의 파형을 기록할 수 있어 고장원인 규명시에 유용한 정보 제공이 가능하도록 하였다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 제어봉 구동장치 제어 시스템용 전력제어기의 여러 가지 기능을 언급하였으며, 전체 구성상에서 상위 제어기로서 PLC를 사용하고, 상위의 명령에 따라 제어봉 구동장치를 동작시키기 위한 하위 제어기로서 2중화된 DSP제어기를 사용하여 구성된 디지털 전력제어기의 개발에 관하여 기술하였다. 본 논문에서 제시한 제어봉 구동장치용 전력제어 시스템은 사용 환경이나 사용자의 요구 등과 같은 약간의 현장 맞춤 후에는 실 적용이 가능한 수준으로 개발되었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김준경 외5, "제어봉 구동장치 제어기 prototype 개발," 2002 전기학회 하계학술회의 논문집, pp.2182-2184, 2002.7
- [2] 한국전력공사, "원자력 제어 및 보호설비", 1989.10
- [3] 한국전력공사, "제어봉제어계통", 1997
- [4] 한국전력공사, "제어봉의 제어계통", 1980
- [5] 한국전력공사, "제어봉제어설비(I)", 1991.11
- [6] 한국전력공사, "제어봉 제어설비(II)", 1991.11