

제어봉 구동장치 제어기기 Prototype 개발

김준경, 천종민, 김석주, 이종무, 안종보, 권순만
한국전기연구원

Development of a Prototype Control Rod Control System

C.K.Kim, J.M.Cheon, S.J.Kim, J.M.Lee, J.B.Ahn, S.M.Kweon
Korea Electrotechnology Research Institute(K.E.R.I.)

Abstract - In this paper we describe a prototype Control Rod Control System(CRCS). The CRCS controls the motion of the full length rod drive mechanisms in response to signals from the Reactor Operator and the Reactor Control System. Each mechanism belongs to either Shutdown Banks or Control Banks. The CRCS also provides information regarding the rod motion, rod position, and the status of the Rod Control System. The prototype CRCS will be used to obtain the requirements for detailed design of a full-scale CRCS.

량의 합은 제어봉 속도 및 방향 결정을 위한 요구 신호를 발생시킨다. 제어봉 속도 및 방향요구 신호는 MCU에 입력되어 적절한 순서로 제어 신호가 발생되어 PCAMU로 보내지고 PCAMU에서는 제어봉 구동장치의 각 코일에 전원을 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 운전코일은 정지 gripper 코일, 이동 gripper 코일, 올림 코일이다. 본 논문에서는 2개의 제어봉 구동장치를 이용하여 그룹운전과 bank 중첩운전을 모의할 수 있게 만든 prototype 제어봉 구동장치 제어시스템에 관하여 기술한다. 제어봉 구동장치 제어시스템의 일반적인 구성은 상위에서 운전모드에 따라 하위로 운전 명령 신호를 발생시키는 Main Control Unit(MCU)와 상위에서 운전명령에 따라 제어봉 구동장치를 운전하게 하는 PCAMU(Power Control And monitoring Unit)로 나뉜다. 본 논문에서 제시하는 prototype 제어시스템은 상위의 MCU로 PLC를 이용하고 하위의 PCAMU는 VME based CPU(DSP) 제어 시스템을 사용하고 있다. 이러한 prototype 제어봉 구동장치 제어시스템의 개발을 통하여 상업용 기기의 개발시 필요한 기능이나 요건 및 문제점에 대한 사전 검토가 이루어질 것이다.

2. 본 론

2.1 Prototype CRCS의 기능

원자로 제어장치는 2가지 오차신호 계열로부터 발생되는 요구량에 따라 제어봉의 속도 및 방향을 결정한다. 즉 한 계열은 실제 냉각제 평균온도와 정해진 기준온도를 비교하게 되고, 다른 계열은 원자로 노심으로부터의 열출력과 터빈의 출력을 비교한다. 이들 오차 요구

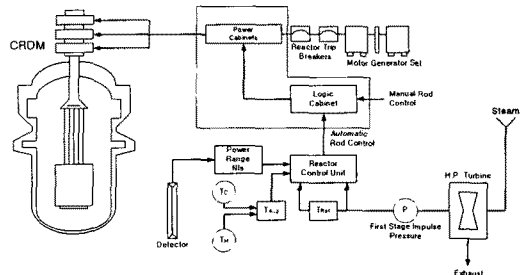


그림 2.1 기본적인 CRCS의 Block 및 신호 흐름도

시제품 CRCS에서는 이러한 오차 신호를 상위로부터 입력받지 않고, PLC 내에서 임의의 순서로 PCAMU에 속도 및 방향 신호를 제공하여 제어봉 구동장치가 지령신호에 따라 잘 동작하는가를 시험한다. 2개의 모의 제어봉 구동장치를 이용하여 그룹단위 운전 및 bank overlap 운전이 가능하도록 구성한다.

2.2 Prototype CRCS의 구성

시제품 제어봉 구동장치 제어시스템의 구성은 그림 2.2에서 나타낸 바와 같이, 상위의 MCU로 PLC를 사용하고 하위의 PCAMU는 VME based CPU(DSP) 제어 시스템을 사용하고 있다. 이 시제품은 2개 Rod 혹은 2개의 Group을 운전할 수 있는 PCAMU 구성을 위하여 2대의 VME Rack을 탑재하고 있다.

상위 PLC로부터 VME Rack으로 오는 명령신호는 디지털 입력 터미널 보드(DITB)를 거쳐 VME bus based 디지털 입력보드로 입력되며, 입력신호에는 방향 신호 펄스(Up/Down)와 Go 펄스 및 Reset 신호 등이다. 하위의 VME based 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 터미널 보드(DOTB)를 통하여 상위로 올려 보낸다. 이외 DOTB를 거쳐 상위로 보내지는 신호에는 긴급/비긴급에 대한 신호가 있다.

Power Module은 사이리스터를 사용한 3상 반파 정류기로 구성되어 있다. 전류의 피드백 제어를 위하여 전류센서(HCT)를 사용하였고, 사이리스터의 고장여부를 검사하기 위하여 전압센서(HPT)를 사용하였다. VME 보드와 외부 신호와의 인터페이스는 신호처리 보드(TB)

를 사용하여 처리하였으며, 디지털 입/출력 신호 터미널 보드(DITB/DOTB), 아날로그 입력신호 터미널보드(AITB), 타이머 카운터 터미널 보드(TCTB) 등이다.

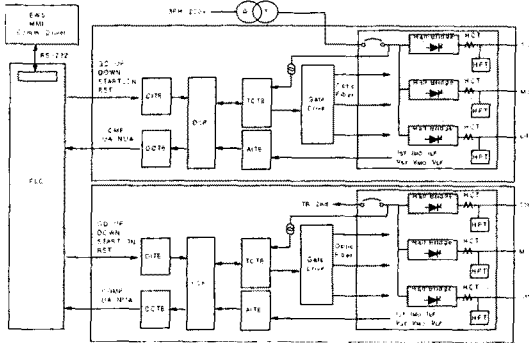


그림 2.2 시제품 CRCS의 구성

2.3 올림 코일에서의 동작 Simulation

시험에 앞서 PI 제어기 설계를 위하여 올림코일에서의 동작을 Matlab을 이용하여 시뮬레이션을 행하였다. 그림 2.3과 같이 올림 코일에 대하여 system을 구축하고, 제어봉 인출(withdrawal) 시 780msec(제어봉이 1step 이동하는데 소요되는 시간) 동안의 동작 simulation 결과를 그림 2.4에 보여 주고 있다.

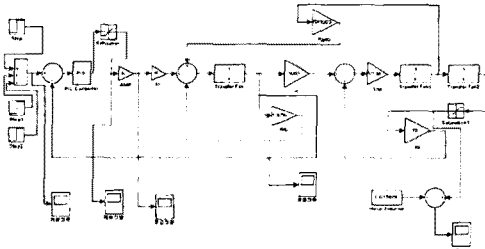


그림 2.3 Simulation을 위한 Block Diagram

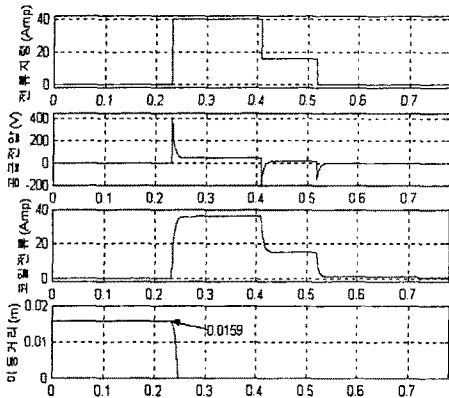


그림 2.4 Simulation 결과

그림에 나타난 바와 같이, 전류 지령치로 Full Current를 40 amp, Reduced Current를 16 amp

주었다. 그림 2.4에서 이동거리를 보면, 올림 코일의 여자를 통해 올림-armature가 올림-pole로 15.9mm(제어봉 1step 이동 거리)를 이동하여 부착되고 이동 gripper 레치로 둘러있던 drive rod 역시 15.9mm 올라가므로 제어봉이 1step 만큼 상승 이동하였음을 보여 주고 있다.

2.4 Prototype CRCS를 이용한 시험

시제품 CRCS를 이용하여 모의 제어봉 구동장치에서의 시험을 행하였다. 모의 제어봉 구동장치는 Group 운전과 Bank Overlap 운전을 행하기 위하여 2개의 전체 제어봉 구동장치를 설계하였으며, 이는 3개의 R/L 부하와 1개의 모의 제어봉 구동장치로 구성하였다. 3개의 R/L 부하는 각각 정지 Gripper 코일, 이동 Gripper 코일 및 올림 코일을 모의한 것이다.

2.4.1 시험장치 구성

그림 2.5는 모의 시험장치의 구성도를 나타낸 것으로, R/L 부하와 모의 CRDM을 포함하고 있다.

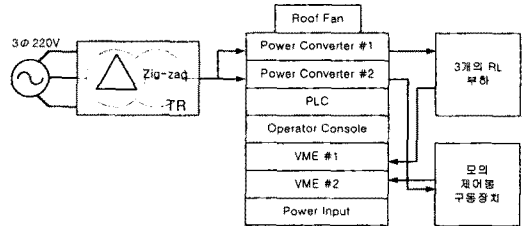


그림 2.5 시험 장치 구성도

CRCS의 기능을 시험하기 위한 제어봉 구동장치의 Mockup은 그림 2.6과 같은 구조로 되어 있으며, 1 Step의 길이는 16mm 이고 정지 gripper 코일을 8A로 여자하면 1.6mm 위로 움직이도록 설계되어 있다. 전체적으로 이동할 수 있는 Step 수는 총 20 Step이며, 상하한에 도달하면 기계적으로 접점이 동작하도록 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 표 1과 같고, 제어봉 구동장치의 인출과 삽입 동작은 각각 아래와 같은 순서를 통해서 이루어진다.

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 ($\downarrow 1.6\text{mm}$)
- 7) : Lift Coil Deenergized ($\downarrow 16\text{mm}$)
- 8) : SG Coil energized to 8 Amp ($\uparrow 1.6\text{mm}$)
- 9) : MG Coil Deenergized
- 10) : SG Coil Profiled to 4.4 Amp ($\downarrow 1.6\text{mm}$)

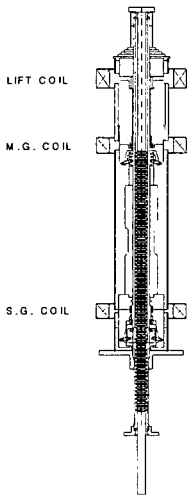


그림 2.6 제어봉 구동장치의 구조도

표 1. 제어봉 구동장치의 전기적 특성

	저항(Ohm)	인덕턴스(mH)	
		Open 시	Close 시
정지 Gripper Coil	9.4	137	183
이동 Gripper Coil	8.5	104	120
올림 Coil	1.3	45	60

또한, 위와 같은 제어봉 구동장치를 모의하기 위하여 전기적으로 근사화시킨 R-L 부하를 제작하여 CRCS의 기능시험에 활용하고 있다.

2.4.2 시험 결과

그림 2.7과 그림 2.8은 모의 CRDM에서의 실험 결과 파형을 나타낸 것으로서, 그림 2.9는 제어봉 인출시, 그림 2.10은 삽입시의 3개 코일에서의 전류 파형을 보여 주고 있다. 올림 코일 전류파형에서 동작시 발생하는 glitch를 관찰할 수 있으며 glitch와 관련하여 제어봉 구동장치 제어기에 관한 주요한 특허들이 걸려 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 시제품 제어봉 구동장치 제어 시스템의 기능 구현을 위하여 상위 제어기로써 PLC를 사용하고, 상위의 명령에 따라 제어봉 구동장치를 동작시키기 위한 하위 제어기로써 VME based DSP제어기를 사용하여 구성한 디지털 시제품 CRCS의 개발에 관하여 기술하였다. 제어봉 구동장치를 구성하는 3가지 코일 중 올림 코일에 대한 동작 Simulation과 R/L 부하를 이용한 전류 추종 특성 시험을 통하여 상업용 기기의 개발시 필요한 기능이나 요건 및 문제점에 대한 사전 검토가 이루어

졌다. 또한 모의시험 장치의 제작과 시험을 통하여 실제 품 RCCS 개발시 고려해야 할 점을 검토하였다.

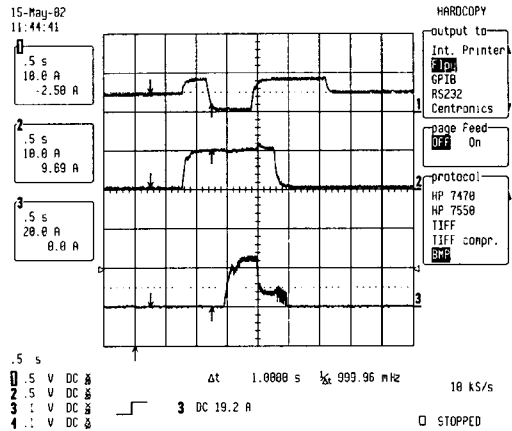


그림 2.7 제어봉 인출 시 CRDM 전류 파형 (위로부터 Stationary, Movable, Lift Coil)

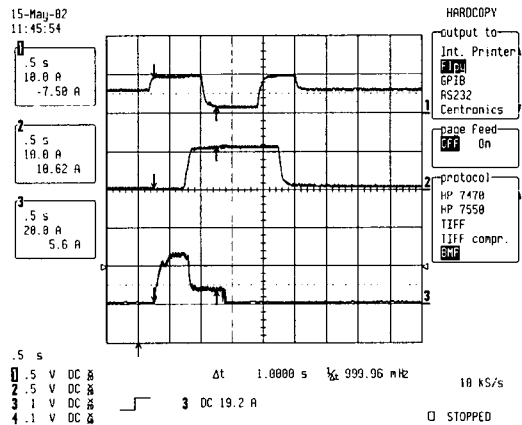


그림 2.8 제어봉 삽입 시 CRDM 전류 파형 (위로부터 Stationary, Movable, Lift Coil)

(참 고 문 헌)

- (1) 한국전력공사, "원자력제어 및 보호설비", 1989.10
- (2) 한국전력공사, "제어봉제어계통", 1997
- (3) 한국전력공사, "제어봉의 제어계통", 1980
- (4) 한국전력공사, "제어봉제어설비(1)", 1991.11
- (5) 한국전력공사, "제어봉 제어설비(II)", 1991.11