

원자로 출력 제어계통 개발용 이중화 전력제어기 설계

김춘경, 이종무, 박민국, 권순만
한국전기연구원

e-mail : ckkim@keri.re.kr, jmlee@keri.re.kr, mkpark@keri.re.kr, smkwon@keri.re.kr

Design of Dual Power Controller for Power Control System in Nuclear Power Plant

Choon-Kyung Kim, Jong-Moo Lee, Min-Kook Park, Soon-Man Kwon
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

In this paper we describe the design of a Dual Power Controller(DPC) for Power Control System(PCS) in Nuclear Power Plant. The PCS also provides information regarding rod motion, rod position, and status of the Rod Control System. It has Hot/Stand-by type, and also has the function of fault detection for controller itself and power modules. We have implemented the various functions with the dual Power Controller. Due to the developed DPC, we are assured that the commercial use by this controller be made before long.

I. 서론

본 논문에서는 원자로 출력제어계통 개발시 사용되는 전력함의 구성품인 4코일 형식 제어봉 구동장치를 제어하기 위한 DSP 기반의 이중화 전력제어기의 설계에 관하여 언급하고자 한다. 원자로 출력제어계통은 원자로 운전원이나 원자로 제어시스템으로부터 제어 신호를 받아 제어봉 구동장치(CEDM; Control Element Drive Mechanism)를 동작시킨다. 원자로 출력제어계통은 4 종류의 코일에 정해진 순서에 따라 전류를 흘려 구동봉을 유지, 삽입, 인출하게 한다.

4종류의 코일은 상위 올림 코일, 상위 집게 코일, 하위 올림 코일 및 하위 집게 코일이다. 본 논문에서는 개별 제어봉 4개까지 운전이 가능한 원자로 출력제어계통용 이중화 전력제어기 설계에 대하여 소개하고 이를

이용한 제어봉의 정상운전 중 마스터 절체 및 각종 고장 검출 등에 대하여 기술한다. 원자로 출력제어계통의 일반적인 구성은 발전소 상위 계통과의 연계를 통해 하위로 운전 명령 신호를 발생시키는 제어함(Control Cabinet)과 제어함에서 온 명령에 따라 제어봉 구동장치의 작동에 필요한 전류를 발생시키는 전력함(Power Cabinet)으로 대별된다. 본 논문에서 제시하는 원자로 출력제어계통에서는 제어함에 DCS를 이용하고 전력함에는 DSP based 디지털 제어기를 사용하여 구성하였다.

II. 본론

원자로 출력제어계통용 전력함 1면은 8개까지의 제어봉을 운전할 수 있도록 설계되어지며, 이러한 경우 차세대 원전과 같이 103개의 제어봉을 구동해야 할 경우 운전대에 필요한 신호 전달을 위해 하드와이어를 사용하게 되면 신호선의 가닥수가 너무 많아져서 여러 가지 불편한 점이 발생하게 된다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 이중화된 통신망을 이용하여 운전대에 필요한 신호를 전달하고자 하며, 이러한 전제하에 이중화 전력제어기의 설계가 이루어지게 된다.

2.1 전력제어기의 기본 기능

원자로 출력제어계통은 크게 제어함과 전력함으로 구분되며 발전소의 외부 계측제어계통으로부터 오는 신호와의 연계는 주로 제어함이 담당하고 전력함은 제어함으로부터 인가되는 신호에 반응하여 제어봉의 동작을 조절하도록 하고 있다. 전력함 내에서 이러한 기능을 수행하는 것은 전력제어기이며 제어봉 동작의 안정성과 신뢰성을 높이기 위한 여러 가지 기능을 수행하게 된다.

전력제어기의 기본 기능에는 제어봉을 구동시키기 위한 4종류의 코일 전류를 제어하고 전력제어기 자체뿐만 아니라 전력함에서 발생된 이상 현상을 검출하여 운전원에게 알려주는 기능 등이 있다.

그림 1은 전력제어기를 포함한 최대 8개의 제어봉을 구동할 수 있는 전력함의 구조를 나타낸 것으로 차세대 원전과 같이 103개의 제어봉을 구동하기 위해서는 이와 같은 전력함이 13면이 필요하게 된다.

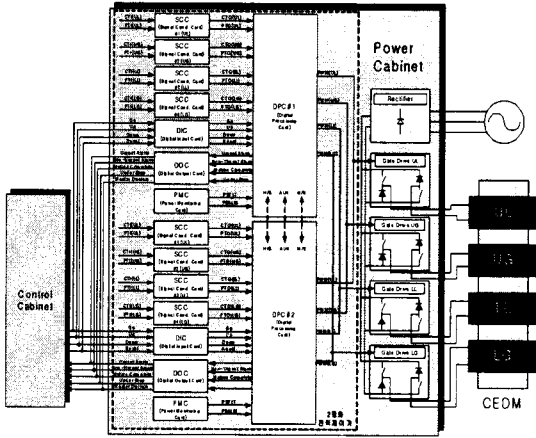


그림 1. 출력제어계통 구성도

2.1.1 자동 옵셋 제거 기능

센서를 거쳐 AD 변환기로 들어오는 코일 전압과 전류 신호는 기본적으로 옵셋을 포함하고 있다. 제어 알고리즘의 초기화시 자동으로 이러한 옵셋값을 구하고 실제 전류량만을 전류 제어용 순시값으로 사용하도록 한다. 자동 옵셋 제거 방식을 사용하는 경우 주의해야 할 점은 이중화된 제어기 중 하나의 제어기가 보수를 끝내고 스탠바이 모드로 들어갈 때 정상 운전 중인 제어기에 의한 유지 코일 전류값을 고려하여 스탠바이 제어기의 옵셋값을 결정해야 한다는 것이다.

2.1.2 전류제어 기능

안정적인 제어봉 동작(유지,삽입,인출)을 보장하기 위해 4종류 코일에는 연속적인 일련의 전류가 흐르도록 해야 한다. 제어봉의 한 스텝 동작은 미리 정한 전류 패턴을 1.5초 동안 순서에 따라 4종류 코일에 인가함으로써 행하여 진다. 제어봉 구동 장치의 기계적인 파라미터를 고려하여 전류 제어시 전류 패턴의 응답시간을 가능한 빠르게 해야 한다. 전력제어기의 전원이 켜지면 전력제어기는 초기화 루틴의 수행을 마치고, 제어봉을 상위 집계 코일에 저전류(8 amp)를 인가하여 제어봉을 홀드 모드(Hold Mode) 상태로 유지하게 한다. 제어봉을 작동시키는 경우, 즉, 제어함으로부터 통신 정보를 통하여 Go 신호와 방향신호가 전력제어기로 전송되면 전력제어기에

서는 방향신호에 따라 요구되는 전류 명령을 발생시키고 전류 센서(CT)로부터 읽어 들인 실제 전류값과의 비교를 통하여 전류 제어신호를 발생시킨다. 이렇게 발생된 전류제어신호는 광케이블을 통하여 전력중폭기(초파)로 보내 요구되는 전류를 제어봉 구동장치용 코일에 흘릴 수 있도록 한다.

2.1.3 고장 검출 기능

원자로 출력 제어계통의 고장에 의한 제어봉 낙하를 방지하기 위해서는 제어봉 구동장치 제어시스템에서 발생할 수 있는 고장을 최대한 사전에 검출하여 운전원에게 알려 주는 것이 필요하다. 전력제어기의 고장 검출은 개별 전력제어기 단위로 행해지며, 검출 가능한 고장의 종류는 다음과 같으며, 사용자 및 운전자의 요구에 따라 추가되어 질 수도 있다. 전력제어기에서 고장 검출을 행하는 방식은 크게 두가지로 나누어지는데, 센서 신호로부터 얻어진 전압, 전류 신호를 이용하는 경우와 디지털 논리로 구현하는 두가지 방식이 사용된다.

- AD/DA 변환기 정상 유무 Check
- 이중화 관련 상대방 Heart Beat 건전성 Check
- 이중화 관련 상대방 정상 상태 Check
- 전력제어기용 이중화 전원 모두 고장(Power Fault)
- 전력제어기용 이중화 전원 중 1개 고장(Power Alarm)
- Dual Port RAM(DPRAM) 고장
- 전력제어기용 카드 탈착 여부 Check
- Fuse 고장
- 전류 조절 고장
- 고전류 인가 경과 시간 초과 고장

2.2 이중화 전력제어기의 구성

이중화 전력제어기는 Hot-Standby 형태로 이중화되어 운전되며, 이중화된 전력제어기중 Master로 할당된 제어기는 제어함(Control Cabinet)로부터 하달되는 개별 제어봉 운전 관련 정보를 입력받아 해당되는 개별 제어봉을 운전하게 되며, Slave 모드로 운전되고 있는 제어기는 운전 상황에 따라 Master 제어기를 Back-up하도록 설계되어진다.

이중화 전력제어기를 구성하는 개별 전력제어기는 기본적으로 4개의 제어봉을 구동시킬 수 있도록 설계되어진다. 그림 1에서 나타낸 바와 같이 개별 전력제어기는 CEDM 코일의 전압/전류 신호를 입력 받아 CEDM 코일에 요구되는 필요한 전류량을 제어하며 아울러 각종 고장 검출 기능을 수행한다.

다음 그림 3은 이중화된 전력제어기 간에 전달되는 신호와 개별 전력제어기의 구성을 나타낸 것으로 두 전력제어기는 동일한 Hardware 및 Software로 운전되어야

한다. 또한, 개별 전력제어기는 전력제어 유닛(Power Control Unit; PCU) 및 전원 공급 장치(Power Supply Unit; PSU)로 구성되며, 다시 PCU는 신호 전처리 카드(Signal Conditioning Card; SCC), 듀얼 프로세서 카드(Dual Processor Card; DPC), 디지털 입출력 카드(Digital Input/Output Card; DIO), 전원 감시 카드(Power Monitoring Card; PMC)로 이루어진다.

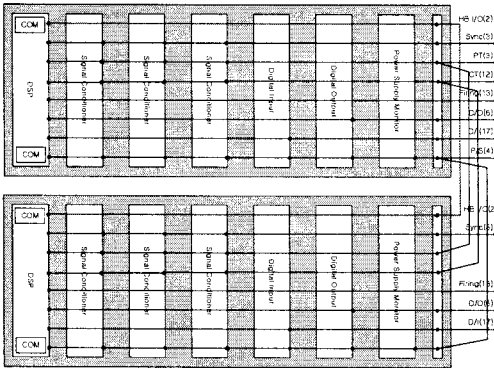


그림 3. 이중화 전력제어기의 구성도

2.3 이중화 전력제어기의 기능

2.3.1 Hot-Stand By(Master/Slave)

그림 4와 같은 이중화된 한 쌍의 제어기가 제어봉 4개의 동작을 제어한다. Hot-Stand by 형태의 2중화된 제어기는 어느 것이나 Master 권한을 가질 수 있지만 2개의 제어기가 동시에 Master 권한을 가질 수는 없다. 하나의 제어기가 Master Mode를 선언하면 다른 제어기는 스스로 Slave Mode로 전환된다. Master Mode와 Slave Mode의 절체는 수동 및 자동으로 행해지며 다음과 같은 기능을 가진다.

- 수동 Master/Slave(M/S) Mode 절체

제어기의 앞 판넬에 버튼을 설치하여 운전자가 임의로 마스터 제어기를 선택할 수 있도록 한다.

- 자동 M/S 절체

자동 마스터 절체는 다음과 같은 조건에서 발생한다.

- 마스터 모드 제어기의 Heart Beat 신호 이상
- 마스터 모드 제어기의 이상 현상 발생시

위의 두가지 마스터 절체 조건은 슬레이브 모드로 운전 중인 제어기가 정상인 경우에만 해당된다.

- 2대의 제어기 모두 Master 선언 금지

- M/S 절체시 전류에서 Bump가 없을 것

슬레이브 모드로 운전중인 제어기는 계속적으로 마스터 모드 제어기의 전류 제어 정보를 추종하고 있다가 마스터 절체가 발생하면 최초의 제어 정보로 추종한 값을 사용하도록 한다.

그림 4는 상대방 제어기에서 출력되는 Heart Beat를 이용하여 상대방 제어기의 정상 또는 비정상 판단하기

위한 방법을 나타낸 흐름도이다.

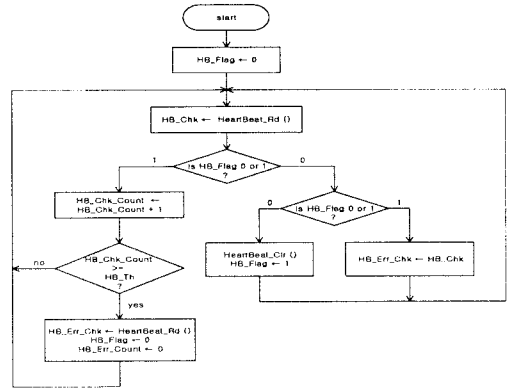


그림 4. Heart Beat Check Part에서의 흐름도

그림 5는 자동 또는 수동에 의한 Master/Slave 절체에 대한 흐름도를 나타낸 것이다.

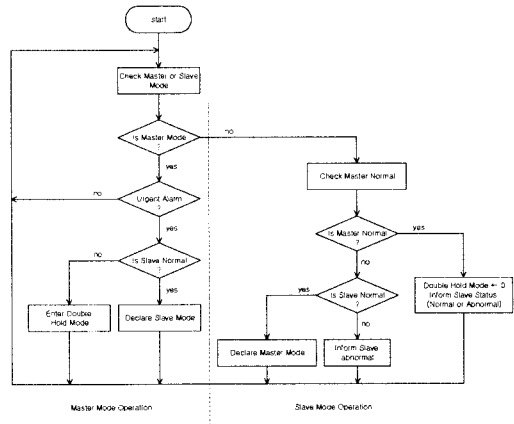


그림 5. Master/Slave Mode 절체 흐름도

2.4 이중화 전력제어기의 성능 시험 및 결과

그림 6은 제어봉이 정지 상태에 있을 때 Master Mode에서 Slave Mode로 절체된 경우, 4 코일에서의 전류 파형을 나타낸 것으로 위에서부터 상위 올림 코일, 상위 짐계 코일, 하위 올림 코일의 전류와 Master Out 신호를 나타낸 것이다. Master Out 신호는 2개의 전력제어기 중 Master Mode로 운전되고 있는 제어기에서 Slave Mode로 운전 중인 제어기로 보내어 지는데 그림 7의 Master Out 신호를 통하여 하나의 제어기가 Master Mode에서 Slave Mode로 절체되어 진 것을 알 수 있다. 이때 4 코일에서의 전류 신호에는 bump가 거의 없는 것을 볼 수 있다. 그림 7은 제어봉을 인출하고 있을 때 Master/Slave 절체 현상이 발생하여도 제어봉의 인출 동작이 정상적으로 행하여 지는 경우를 보여 주고 있다.

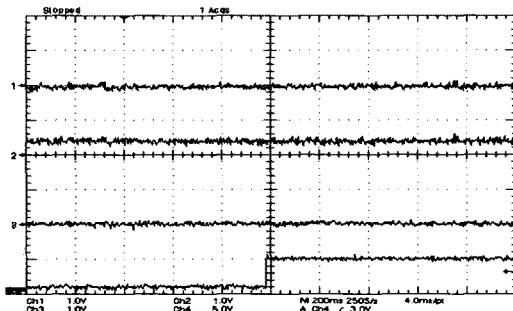


그림 6. Master/Slave 절체시의 4 코일의 전류 파형.
(정지 모드시)

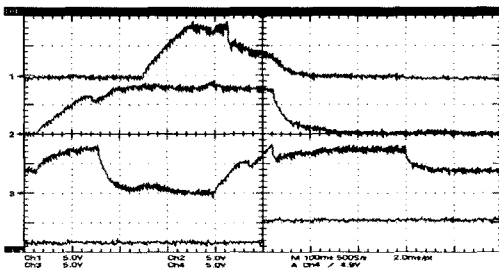


그림 7. Master/Slave 절체시의 4 코일의 전류 파형.
(제어봉 인출시)

III. 결론

본 논문에서는 원자로 출력 제어계통용 이중화 전력 제어기의 설계/제작/시험을 통하여 개발된 이중화 전력 제어기의 신뢰성을 확인하고자 하였다. 운전자의 의도적인 제어봉 낙하를 제외하고 제어봉이 결코 낙하되지 않도록 하는 것은 발전소의 가동을 향상 측면에서 매우 중요한 일이다. 또한 각종 고장 검출 기능을 구비하여 제어시스템의 유지, 보수 시간을 최대한 줄일 수 있도록 하였다. 본 논문에서 제시한 원자로 출력 제어계통용 이중화 전력제어기는 약간의 현장 맞춤 후에는 실 적용이 가능할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김춘경 외5, “제어봉 구동장치 제어기 prototype 개발,” 2002 전기학회 하계학술회의 논문집, pp.2182-2184, 2002.7
- [2] 김춘경 외3, “원자로 제어봉 구동장치 제어시스템 용 전력제어기 개발,” 2003 정보제어공학회 추계학술회의 논문집, pp.2182-2184, 2003.11
- [3] 한국전력공사, “원자로제어 및 보호설비”, 1989.10
- [4] 한국전력공사, “제어봉제어계통”, 1997

- [5] 한국전력공사, “제어봉의 제어계통”, 1980
- [6] 한국전력공사, “제어봉제어설비(I)”, 1991.11
- [7] 한국전력공사, “제어봉 제어설비(II)”, 1991.11