

표준형 원자로 제어봉 구동장치 시험기기 개발

김춘경, 천종민, 이종무, 권순만  
한국전기연구원

Development of a Test Apparatus for Control Element Drive Mechanism of Standard Reactor

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

**Abstract** - In this paper, we describe a DSP-based test apparatus for Control Element Drive Mechanism (CEDM). Using this apparatus, we can catch the mechanical and electrical characteristics of CEDM and obtain the information about the improvement of CEDM and the design of CEDM power controller. The test apparatus for CEDM introduced in this paper can input firing angles directly into gate drive circuits of thyristors so that this method can be used to derive the maximum and minimum values of firing angles within available limits for a 3-phase half-wave rectifier. Angle inputs help us understand each coil's response characteristics. Since this apparatus generates a serial sequence for CEDM insertion and withdrawal operations, we may judge whether CEDM works correctly as expected or not in each phase of a step movement.

1. 서 론

원자로 제어봉 구동장치는 원자로 출력을 조절하는 제어봉의 삽입, 인출 동작을 발생시키는 장치이며 이러한 구동장치를 제어하는 시스템이 제어봉 구동장치 제어시스템이다. 본 논문에서 설명하는 표준형 제어봉 구동장치 시험기기는 제어봉 구동장치 제어시스템의 기능뿐만 아니라 새롭게 제작된 제어봉 구동장치의 전기적 기계적 특성 시험을 용이하게 하기 위한 시험기기 기능도 구비하고 있다. 4 코일 형식 표준형 제어봉 구동장치는 상위 올림 코일, 상위 집게 코일, 하위 올림 코일 및 하위 집게 코일을 이용하여 제어봉의 삽입 인출 동작을 발생시키는 장치이며, 제어봉 구동장치 제어시스템은 4 종류의 코일에 일련의 정해진 순서에 따라 전류를 공급함으로써 제어봉 구동장치를 동작시킨다. 표준형 제어봉 구동장치 시험기기는 DSP를 기반으로 한 디지털 제어기로 제작되어진다. 이러한 제어봉 구동장치 시험기기의 개발을 통하여 제어봉 구동장치의 개선 및 제어봉 구동장치 제어기기의 전력제어기 설계에 유용한 정보를 얻고자 한다. 본 논문에서 제시하는 제어봉 구동장치 시험기기는 싸이리스터를 이용하는 3상 반파 전력 증폭기의 점화각을 직접 인가함으로써 제어봉 동작 가능 범위 내의 점화각 상, 하한 값을 쉽게 도출할 수 있고, 정상적인 제어봉 구동장치의 삽입/인출 고속, 중속, 저속 운전이 가능한 것은 물론, 제어봉 구동장치의 삽입/인출 동작에 대한 시퀀스를 구분 동작으로 발생시킴으로써 각 단계에서 요구되어지는 제어봉 구동장치의 동작이 정상적으로 일어나는지 쉽게 알아낼 수 있다.

본 논문에 의한 이와 같은 제어봉 구동장치 시험기기를 이용함으로써 제어봉 구동장치의 기계적, 전기적 특성인

가공정밀도, 복귀 스프링 탄성계수의 적절성, 그리고 작동 가능 전류 범위 등을 쉽게 알아낼 수 있으며, 제어봉 구동장치 제어기기의 전력제어기 설계 시 유용한 정보를 획득할 수 있다.

2. 본 론

2.1 제어봉 구동 장치 시험기기의 구성

그림 1은 전체 시험기기의 구성도를 나타낸 것으로, CEDM Mock-up을 포함하고 있다. 표준형 제어봉 구동장치 시험기기의 기능 시험을 위한 표준형 제어봉 구동장치의 Mock-Up은 그림 2와 같은 구조로 되어 있으며, 그림3은 제작된 3기의 제어봉 구동장치 Mock-Up을 나타낸 사진이다. 제작된 제어봉의 1 Step의 길이는 3/4 인치이고 4종류의 코일에 전압을 인가하여 삽입, 인출 동작을 수행한다. 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 전기적인 특성은 참고문헌에 나타나 있으며, 제어봉 구동장치의 인출과 삽입 동작은 각각 아래와 같은 순서를 통해서 이루어진다.

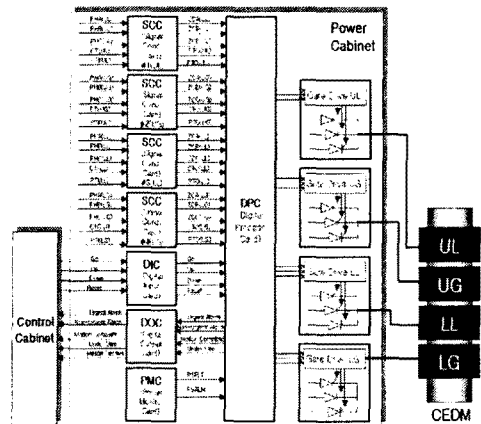


그림 1 제어봉 구동장치 시험기기 구성도

가. 인출 순서

정지 모드시 상위 집게 코일에 저전압이 인가되어 제어봉을 잡고 있다. 이러한 초기 상태에서 제어봉을 한스텝 인출하기 위한 시퀀스는 아래와 같다.

- 1) 정지 모드에서 상위 집게 코일에 저전압이 인가된 상태로 상위 집게 결쇠가 제어봉을 잡고 있다.

- 2) 상위 올림 코일에 전압이 인가되어 상위 집게 봉치를 들어 올린다. 이때 제어봉은 7/16 인치 올라 가게 된다.
- 3) 하위 집게 코일에 전압이 인가되어 하위 결쇠가 제어봉을 잡을 수 있도록 준비한다. 이때 하위 결쇠의 기구적인 위치는 제어봉의 걸림마디에 대해 1/32 인치의 여유가 있다.
- 4) 상위 올림 코일에 인가된 전압을 끊으면 상위 결쇠 봉치는 7/16 인치 하강하게 된다. 제어봉도 하강을 하지만 걸림마디까지의 길이 1/32 인치만큼 하강하면 하위 결쇠가 제어봉을 잡는다. 이것은 3)의 단계에서 이미 하위 결쇠에 전압이 인가된 상태에서 제어봉을 잡을 준비가 마쳐진 상태이기 때문이다.
- 5) 상위 집게코일에 인가된 전압을 끊어 상위 결쇠가 풀리게 한다.(본 단계를 마치면 제어봉은 13/32 인치 인출된다.)
- 6) 하위 올림코일에 전압을 인가하여 제어봉을 3/8 인치 들어 올린다.
- 7) 상위 집게 코일에 전압을 인가하여 상위 결쇠가 제어봉을 잡을 수 있도록 준비한다. 이때 상위 결쇠의 기구적인 위치는 제어봉의 걸림마디에 대해 1/32 인치의 여유가 있다.
- 8) 하위 올림코일에 인가된 전압을 끊어 하위 결쇠 봉치가 3/8 인치 하강하도록 한다. 이때 제어봉도 하강을 하지만 걸림마디까지의 길이 1/32 인치만큼 하강하면 상위 결쇠가 제어봉을 잡는다. 이것은 7)의 단계에서 이미 상위 결쇠에 전압을 인가하여 제어봉을 잡을 준비를 하고 있기 때문이다.
- 9) 하위 집게코일에 인가된 전압을 끊어 하위 결쇠가 풀리게 한다.(본 단계를 마치면 제어봉은 11/32 인치 인출된다.)

#### 나. 삼입 순서

- 1) 초기에 정지 모드에서 상위 집게 코일에 전압이 인가되어 제어봉을 잡고 있다.
- 2) 하위 집게 코일에 전압이 인가되어 하위 결쇠가 제어봉을 잡을 준비를 한다. 이때 걸림마디에 대해 하위 결쇠는 11/32 인치의 여유가 있다. 하위 집게코일에 전압을 인가하여 하위 집게를 축에 밀착시킬 때 하위 집게의 위치는 제어봉의 걸림마디 사이의 중심선(12/32인치)보다 대략 1/32 인치 작다.
- 3) 하위 올림 코일에 전압을 인가하여 하위 집게를 3/8 인치 들어 올린다. 이렇게 하면 제어봉은 1/32인치 들어 올려지게 되고 하위 집게가 부하(이동체 무게)를 담당하게 된다.
- 4) 상위 집게코일에 인가된 전압을 끊어 상위 집게가 풀리게 한다.
- 5) 하위 올림 코일에 인가된 전압을 끊어 하위 집게를 3/8 인치 내려 제어봉을 3/8인치 삼입한다.(본 단계를 끝내면 제어봉은 최종 11/32 인치 삼입된다.)
- 6) 상위 집게 코일에 전압을 인가하여 상위 집게가 작동하도록 한다. 이때 걸림마디까지의 여유는 13/32 인치이다.
- 7) 상위 올림 코일에 전압을 인가하여 상위 집게를 7/16 인치 들어 올리면 제어봉은 1/32 인치 올라가고 하위 집게에 걸렸던 부하를 상위 집게가 담당하게 된다.
- 8) 하위 집게 코일에 인가된 전압을 끊어 하위 집게를 풀게 한다.
- 9) 상위 올림 코일에 인가된 전압을 끊어 상위 집게를 7/16 인치 하강시키면 제어봉은 7/16 인치 삼입된다.(본 단계를 마치면 제어봉은 최종 13/32 인치 삼입된다.)

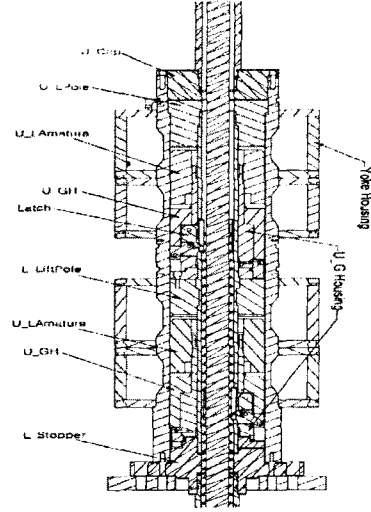


그림 2 제어봉 구동장치 구조도

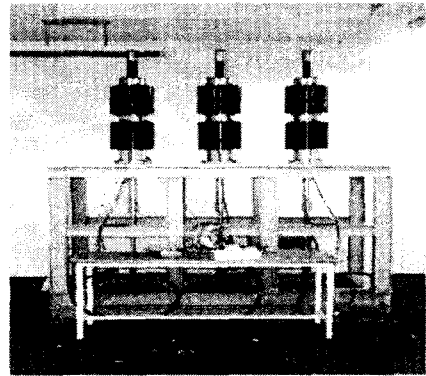


그림 3. 제어봉 구동장치 Mock-Up

#### 2.2 시험기용 디지털 제어기

그림 4는 DPC 보드의 구성을 나타낸 것으로, DPC 보드는 고속 부동소수점 연산 방식의 DSP인 TMS320C32(TI사)를 DUAL로 구성하여, 각각 제어 기능과 통신 기능을 전담하도록 하고 두 개의 DSP 사이의 데이터 전달은 DPRAM을 통해서만 행하여 지게 하여 통신 고장이 어떠한 경우에도 제어 기능에 영향을 주지 않도록 설계한다. 제어용 DSP에는 아날로그 입력을 디지털 값으로 변환하는 A/D Converter와 Digital I/O Interface가 있어서 각종 입출력 신호를 제어하도록 하였다. 통신용 DSP에는 NS16C552인 Dual-Uart Serial Interface가 있어서 통신을 담당하도록 하였다. 시험기는 랙에 장착된 BPB(Backplane Board)에 제어카드들이 삼입되어 필요한 기능들을 수행하며, 랙에 장착된 Backplane에 제어카드가 삼입될 때 다른 종류의 제어카드가 오삼입되는 것을 방지하기 위한 수단을 마련한다. 제어카드들의 종류로는 DPC(DSP Processing Card), SCC(Signal Conditioning Card), DIC(Digital Input Card), DOC(Digital Output Card) 및 PMC(Power Monitoring Card)가 있으며, SCC는 상위올림 코일용, 상위 집게 코일용, 하위 올림 코일용 및 하위 집게 코일용으로 4개를 각각 설치하며 전력 변환기 출력 전압 검출용 PT 신호와 각 제어봉 구동장치들의 코일에 흐르는 출력 전류 검출용 CT 신호는 공통으로 사용한다.

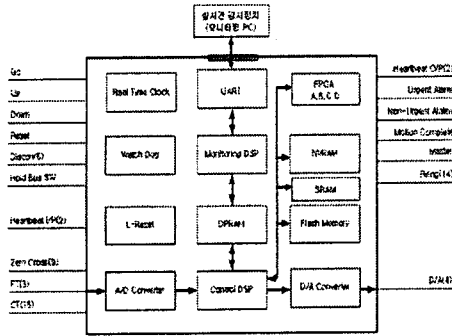


그림 4. 디지털 프로세서 카드의 구조도.

### 2.3 시험기기를 이용한 시험 및 결과

개발된 표준형 원자로 제어봉 구동장치 시험기기를 이용하여 제어봉 구동장치 Mock-Up에서의 시험을 행하였다. 전력변환 모듈은 싸이리스터를 사용하였다. 개발된 제어봉 구동장치 시험기기는 1개의 제어봉을 운전할 수 있는 형태로 구성되어 있다.

#### 2.3.1 점호각 인가 시험

그림 5는 상위 울림 코일을 사용하는 대신 1K $\Omega$  저항 성분만을 연결하여 점호각을 직접 인가하여 최대 점호각(점호각 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.

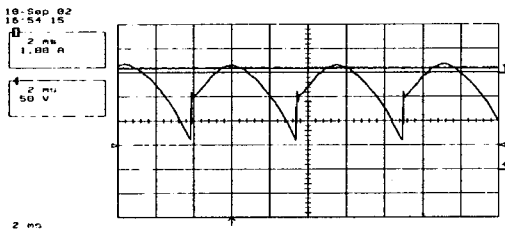


그림 5. 일정 점호각 인가시의 전압, 전류 파형

#### 2.3.2 정상운전 시험

그림 6에서 그림 9까지는 정상 운전시의 시험 파형으로 그림 6은 한 스텝 인출시의 인가 전압 명령 신호, 그림 7은 한 스텝 인출시의 전류 신호, 그림 8은 한 스텝 삽입시의 인가 전압 명령 그리고 그림 9는 한 스텝 삽입 시의 각 코일의 전류 신호를 나타내고 있다. 그림에서 위에서부터 상위 울림 코일, 상위 집게 코일, 하위울림 코일 및 하위 집게 코일 관련 신호를 각각 나타내고 있다. 제어봉 인출과 삽입 시 한 스텝의 이동은 정해진 시간(1500msec) 내에 일련의 9 내지 10단계로 이루어진다.

## 3. 결 론

본 논문에서 제시한 제어봉 구동장치 시험기기를 이용하여 제어봉 구동장치를 구성하고 있는 4종류의 코일에 전류를 인가하기 위한 싸이리스터를 사용하는 3상 반파 정류기의 점화각을 직접 인가함으로써 제어봉 구동장치

의 안전한 작동 범위 내의 점화각 한계 값 설정을 용이하게 할 수 있으며, 제어봉 구동장치의 삽입 인출에 대한 시퀀스를 구분 동작으로 발생시킴으로써 각 단계에서 요구되어지는 제어봉 구동장치의 동작이 정상적으로 일어나는지 쉽게 알아낼 수 있다. 본 논문에서 언급한 제어봉 구동장치 시험기기를 사용함으로써 제작된 제어봉 구동장치의 기계적, 전기적 특성 분석 및 전력 제어 시스템 특성 분석이 용이할 수 있다.

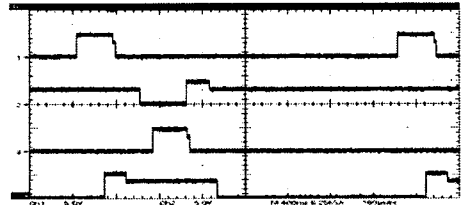


그림 6. 인출시 전압 명령 신호



그림 7. 인출시 전류 파형

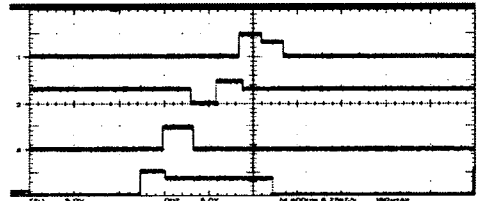


그림 8. 삽입시 전압 명령 신호



그림 9. 삽입시 전류 파형

### [참 고 문 헌]

- [1] 김춘경 외5, "제어봉 구동장치 제어기 prototype 개발," 2002 전기학회 하계학술회의 논문집, pp.2182-2184, 2002.7
- [2] 김춘경 외5, "다기능을 가진 제어봉 구동장치 전력제어기 개발," 2003 전기학회 하계학술회의 논문집, pp.2215-2217, 2003.7
- [3] 두산중공업, "CEDM-CS 교육자료 Vol.1", 2001.9
- [4] 한국전력공사, "제어봉제어계통", 1997
- [5] 한국전력공사, "제어봉의 제어계통", 1980
- [6] 한국전력공사, "제어봉제어설비(I)", 1991.11