

# 내지진용 리드스위치를 이용한 일체형원자로용 위치지시기 개발

유제용<sup>†</sup> · 김지호\* · 허형\* · 최명환\* · 손동성\*

## Development of Control Rod Position Indicator using Seismic-Resistance Reed Switches for Integral Reactor

Je-Yong Yu, Ji-Ho Kim, Hyung Huh, Myoung-Hwan Choi and Dong-Seong Sohn

**Key Words :** Integral reactor(일체형원자로), Position Indicator(위치지시기), Seismic resistance(내지진), Reed switch(리드스위치)

### Abstract

The reed switch position transmitter (RSPT) is used as a position indicator for the control rod in commercial nuclear power plants made by ABB-CE. But this position indicator has some problems when directly adopting it to the integral reactor. The Control Element Drive Mechanism (CEDM) for the integral reactor is designed to raise and lower the control rod in steps of 2mm in order to satisfy the design features of the integral reactor which are the soluble boron free operation and the use of a nuclear heating for the reactor start-up. Therefore the resolution of the position indicator for the integral reactor should be achieved to sense the position of the control rod more precisely than that of the RSPT of the ABB-CE. This paper adopts seismic resistance reed switches to the position indicator in order to reduce the damages or impacts during the handling of the position indicator and earthquake.

### 1. 서론

일체형원자로의 제어봉구동장치 (CEDM ; Control Element Drive Mechanism)에 쓰이는 제어봉 위치지시기는 빈번한 제어봉의 이동에도 변위 측정 성능을 유지해야 한다. 또한 제어봉 위치지시기는 제어봉의 실제 위치를 측정하는 역할을 하므로 제어봉 위치지시기의 신호는 제어계통 신호와 독립적이어야 하고 측정된 위치신호도 만일의 고장에 대비하여 신호 채널이 다중화 되어야 한다. 따라서 제어봉 위치지시기에서 나오는 안전 계통의 신호는 높은 신뢰성과 정확성을 가져야 한다. CEDM

에서 필요로 하는 제어봉 위치지시기는 현재 상용로에서 사용되고 있는 제어봉 위치지시기 (RSPT ; Reed Switch Position Transmitter) 형태에서 한 단계 진보된 성능을 가지도록 설계 제작되었다. 제어봉 위치지시기의 측정원리는 제어봉과 함께 움직이는 영구자석의 위치를 상부압력용기 밖에 위치한 제어봉 위치지시기 내부의 리드스위치가 상부압력용기 내에 위치한 영구자석의 자력을 감지하여 영구자석을 위치를 알아내고 이를 통해 제어봉의 위치를 유추하는 것이다. 기존 제어봉 위치지시기는 제작 및 시험 중 발생하는 빈번한 조립과 세팅작업을 수행하기가 번거로울 뿐만 아니라 지진하중에 의해 제어봉 위치지시기 내의 리드스위치의 파손이 발생할 확률이 높다. 따라서 본 연구에서는 제어봉 위치지시기 내 설치된 유리관으로 밀봉된 리드스위치를 내지진 특성이 우수한 신형 리드스위치로 교체하고 제어봉 위치지시기의 손쉬운 장착 및 해체를 위하여 간단하고 견고한 제어봉 위치지시기 홀더를 설계 제작 하였다.

<sup>†</sup> 회원, 한국원자력연구원 동력로기술개발부

E-mail : yjy@kaeri.re.kr

TEL : (042)868-2835 FAX : (042)868-8622

\* 한국원자력연구원 동력로기술개발부

## 2. 내지진 위치지시기의 구성

Fig. 1 은 제어봉구동장치에 설치된 제어봉 위치지시기의 개략적인 모습을 나타내고 있다. 영구자석이 제어봉과 함께 상하로 위치변위를 일으키면 상부압력용기 바깥쪽에 설치된 제어봉 위치지시기 내부에 동일 간격으로 설치된 리드스위치들 중 영구자석과 근접한 리드스위치의 리드는 자화되어 닫히게 된다. 압력용기 안의 영구자석의 자기장의 영향을 최대한 이용하기 위해서 제어봉 위치지시기를 압력용기에 최대한 근접시킨다. 상부 압력용기 내부는 높은 온도의 일차수로 채워지게 되는 데, 이 높은 온도의 일차수에 견딜 수 있는 큐리온도점이 높고, 잔류자기와 보자력이 큰 내부식성 영구자석을 사용해야 한다.[1] 또한 자력선방향이 내부벽 측에 수직으로 충분히 통과하도록 하여 리드스위치의 리드를 자화시킬 수 있게 제어봉 위치지시기를 설계하여야 한다.[2-3] 수 백개의 리드스위치를 연결하기 위해서 얇은 비자성체 판 위에 리드스위치를 배열하고 뒷면에는 각 리드스위치의 리드와 저항을 연결한다.[4] Fig. 2 는 설계 개발된 내지진 제어봉 위치지시기 개발품 사진이다.

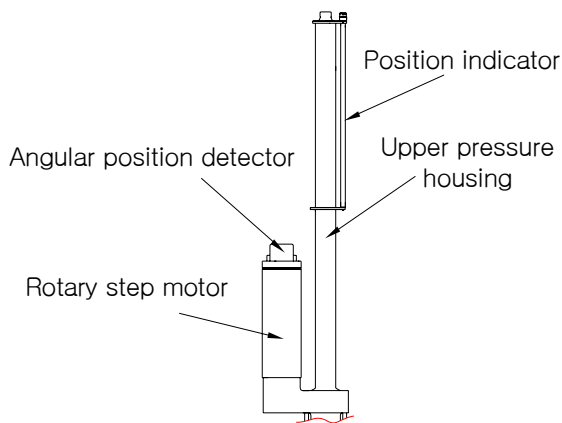


Fig. 1 General view of the CEDM assembly



Fig 2 Photograph of seismic-resistance position indicator assembly

## 3. 내지진 위치지시기 설계 및 제작

### 동작원리

상부압력용기 내부의 연장봉 상부에는 제어봉과 함께 상하 운동하는 영구자석이 설치되어 있으며 이 영구자석의 위치에 비례하여 상부압력용기 외벽에 설치된 위치지시기는 계단식 직류 전압신호를 출력한다. 위치지시기는 제어봉의 위치를 20 mm 간격으로 감지할 수 있도록 설계되며 영구자석의 이동에 따라 항상 두 개 또는 세 개 위치에 해당하는 리드스위치가 닫히게 된다. 20mm 간격의 제어봉 위치정보는 두 개 위치의 리드스위치가 닫혔을 때의 출력전압에 의하여 결정된다. 작동의 신뢰성 확보를 위하여 각 위치에는 두 개씩의 리드스위치가 설치된다. 제어봉 위치지시기는 제어봉구동장치의 상부압력용기 주위에는 리드스위치를 이용한 4 대의 제어봉 위치지시기집합체가 독립적으로 설치된다. 4 대의 제어봉 위치지시기집합체 중 2 대에는 제어봉의 상한, 하한을 지시할 수 있는 비안전등급의 상부한계스위치, 하부한계스위치가 위치지시기 센서와 독립적으로 설치되어 있다. 위치지시기 집합체는 리드스위치와 저항을 이용한 분압회로로 이루어져 위치지시기 센서 역할을 수행하며 4 채널로 이루어져 있다. 상하부 한계스위치는 제어봉이 작동영역 밖으로 이송될 경우 운전원에게 경고신호를 제공하는 비안전 등급 신호이다

제어봉 구동축의 상단에 N-S 극으로 이루어진 영구자석을 설치하여 제어봉이 상하로 움직일 때 영구자석도 같이 움직이며 Fig. 3 과 같이 영구자석이 위치하는 지점에 설치된 리드스위치는 닫히게 된다. 제어봉 위치지시기집합체는 리드스위치와 저항으로 연결된 분압회로에 의해 결선되어 있어서 각각의 리드스위치의 닫힘에 합당되는 전압신호가 출력된다.

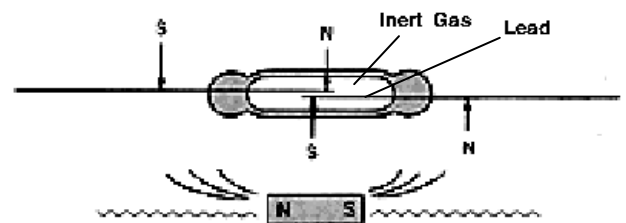


Fig 3 Magnetization of the reed switch

### 설계 및 제작

제어봉 위치지시기의 구성부품은 크게 위치감지용 영구자석, 리드스위치 및 전기적 분압회로로 나눌 수 있다. 특히 영구자석과 리드스위치는 위치지시기의 정밀도 및 신뢰도와 관계가 있는 부품으로 제품의 선택과 배치는 매우 중요하다. 제어봉 위치지시기의 내지진 성능에 영향을 미치는 부품이 바로 리드스위치이므로 영구자석은 기존 설계에서 검증된 마친 기존 영구자석을 사용하고 리드스위치는 크기가 작고 내지진 성능 우수한 내지진 리드스위치를 기존 유리관 밀봉형 리드스위치를 대체하여 사용하였다. 기존 위치지시기에 사용되는 리드스위치는 상용원전에서 그 성능이 검증된 ALEPH 사의 HYR-2001 을 선택하였는데 유리관 길이는 20mm 이고 직경은 2.5mm 이고 리드를 구부려 기판에 장착하면 기판에서 유리관의 최외각까지 높이는 약 3.5mm 정도이다. 반면에 RRE 사의 내지진 리드스위치 KR5S-1 의 외관 치수는 몸체길이는 6.5mm 이고 단면부 □의 크기는 2.3mmX2.3mm 이며 리드를 구부려 기판에 장착하면 기판에서 몸체 최외각까지 높이는 2.3mm 정도이다. 두 종류 리드스위치의 전체적인 형상과 치수는 Fig. 4 에 나타내었다. 이처럼 현저하게 크기가 작아진 내지진 리드스위치 KR5S-1 을 사용함으로써 위치지시기 튜브의 직경을 21.7mm 로 줄일 수 있어 위치지시기의 장착이 용이하고 위치지시기 홀더설계도 간편해 지는 장점을 얻을 수 있었다. 개선된 위치지시기 홀더 구조는 Fig. 5 와 같고 Table 1 은 기존 리드스위치 HYR-2001 과 내지진 리드스위치 KR5S-1 의 동작 특성을 비교한 표이다.

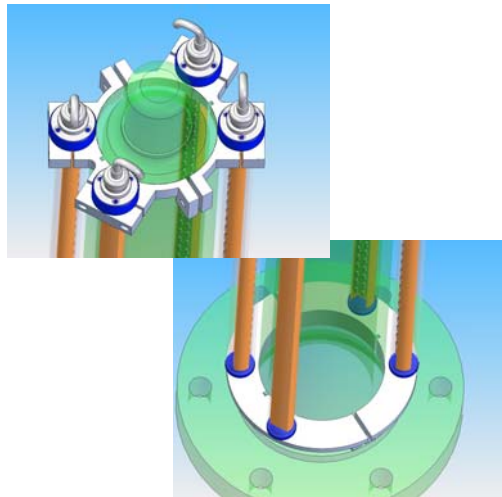


Fig. 5 Holder for position indicator

Table 1 Characteristics of two reed switches

	HYR-2001	KR5S-1
Contact Rating Max. [W]	10.0	5.0
Switching Current Max. [A]	0.5	0.35
Switching Voltage Max. [V]	200	100
Breakdown Voltage Min. [V]	300	150
Contact Resistance Max. [mΩ]	100	200
Operating Temperature [°C]	.	-40~140
Seismic Resistance (1/2 Sinewave for 11ms) [g]	.	30
Vibration Resistance (10-2000Hz) [g]	.	20

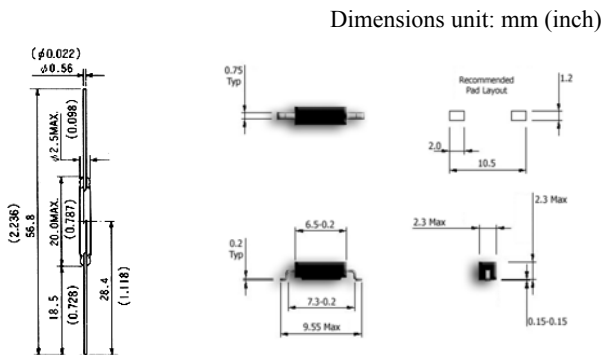


Fig. 4 Dimension of two reed switches

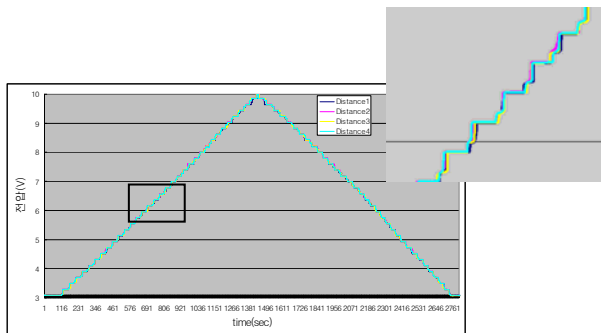
### 4. 내지진 위치지시기 성능시험

Fig 6 은 내지진 위치지시기의 성능시험 장치이다. 사진에서 알 수 있듯이 4 대의 내지진 위치지시기가 독립적으로 아크릴로 만든 CEDM 상부압력용기 외벽에 설치된 상태에서 영구자석을 8mm/sec 의 속도로 상승과 하강을 시키고 이때 내지진 위치지시기의 컨트롤러를 이용하여 0.2 초 간격으로 내지진 제어봉 위치지시기의 출력신호를 측정하였다. Fig 7 은 4 채널의 내지진 위치지시기에서 출력되는 전압신호를 동시에 측정된 결과이다. 여기서 대 부분의 구간에서 4 채널의 내지진 위치지시기는 동일한 전압신호를 출력하는 것을 알 수 있다. 이러한 4 채널의 정상적인 출력신호를 보다 자세히 관찰하기 위해 Fig 7 의 상단에 일부

구간의 확대 신호를 그림을 나타내었다. 확대 그림에서 알 수 있듯이 4 채널에서 출력되는 위치 신호는 내지진 리드스위치가 2 스텝에서 동시에 동작되는 구간과 3 스텝에서 동시에 동작되는 구간을 분명히 보여주고 있으며 이러한 결과는 원래 내지진 위치지시기 설계에서 예상되는 위치신호인 전압 레벨과도 잘 부합되는 것을 보여준다



**Fig. 6** Experimental apparatus of seismic-resistance position indicator



**Fig. 7** Experimental results

## 5. 결론

제어봉구동장치에서 제어봉의 위치를 감지하여 안전계통에 위치신호를 보내는 위치지시기의 설계는 매우 중요하다. 제어봉 위치지시기의 성능에 영향을 미치는 주요설계인자는 아래와 같으며 이 주요설계인자 중 내지진 위치지시기 개발에서는 2

번째 설계인자를 내지진 리드스위치로 대체하여 내지진 성능 향상과 히스테리시스량 감소로 인한 정밀도 향상을 얻어냈다.

1. 영구자석의 세기 및 열화정도
2. 리드스위치의 종류 및 히스테리시스 량
3. 저항의 정밀도

본 연구에서는 내지진 위치지시기의 설계제작 및 성능예비시험을 통하여 위치분해능 20mm, 위치정밀도  $\pm 10\text{mm}$ 의 특성을 갖는 내지진 위치지시기의 구성부품을 선정하여 설계제작을 수행하고 성공적으로 성능예비시험을 마쳤다.

## 참고문헌

- (1) J. Y. Yu and et al, 2001, "Development of Linear Pulse Motor Type Control Element Drive Mechanism," ICONE-9, Nice, France.
- (2) J. Y. Yu and et al, 1999, "Review of Design Technology for Control Rod Position Indicators," KAERI/AR-551/99, KAERI.
- (3) J. Y. Yu and et al, 2000, "Conceptual Design of RSPT Type Control Rod Position Indicator for CEDM," Korea Nuclear Society Spring Conference.
- (4) J. Y. Yu and et al, 2002, "Design of Magnetic Flux Concentrator of Permanent Magnet for Control Rod Position Indicator of CEDM," Korea Nuclear Society Spring Conference.