

영광2호기 노내 중성자속 감시계통의 인출제한스위치 설비 개선

박종범, 양승권

한국전력공사 전력연구원

대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

영광2호기에 설치되어있는 노내 중성자속 감시 계통 설비인 기계식 인출제한 스위치(Withdrawal Limit Switch)의 구조적인 결함을 제거하기 위한 원인 분석 및 개선과정에 중점을 두었다. 기계제어방식의 구조적 결함은 검출기(Detector)가 노심의 중성자속(Neutron Flux)을 측정하기 위해 구동기의 수동 혹은 자동운전시 검출기 안내관에 삽입·인출이 반복 수행되면서 물리적 또는 환경적요인에 의한 레버의 휘어짐으로 접촉위치의 변경이 발생하는 것을 의미한다. 콘솔내 다수의 마이크로-프로세서(Multiple-Microprocessors)에 의한 구동기(Drive Unit) 동작으로 노심내 3차원 중성자속 분포를 측정할 수 있는 유일한 설비로써 본 계통은 그동안 관련 보수작업 및 설비 개선에도 불구하고 근본문제점이 해소되지 못한 가운데 여러차례의 설계, 모의시험을 거쳐 인출제한스위치 제어 방식을 기계식에서 전자식으로 개선, 대체하여 시험 및 운전해 본 결과 근본적 결함원인이 해결되었음을 확인하였다.

1. 서 론

노내중성자속 감시계통은 미국 Teleflex사 제품으로 격납용기(Containment) 내부에 위치하며 콘솔의 명령에 의한 검출기 구동장치에서 입력되는 검출기가 안내관(Guide tube)을 통해 노심으로 삽입·인출되면서 검출기 센서가 중성자와 반응하여 감지된 신호를 전기신호로 바꾸어 주 제어반의 콘솔(console)에 제공함으로써 노심운전상태를 감시하고 노외핵계측계통(Nuclear Instrumentation System) 교정 및 노심내 핵연료 연소의 부적합 여부의 판정 기능을 갖는다.

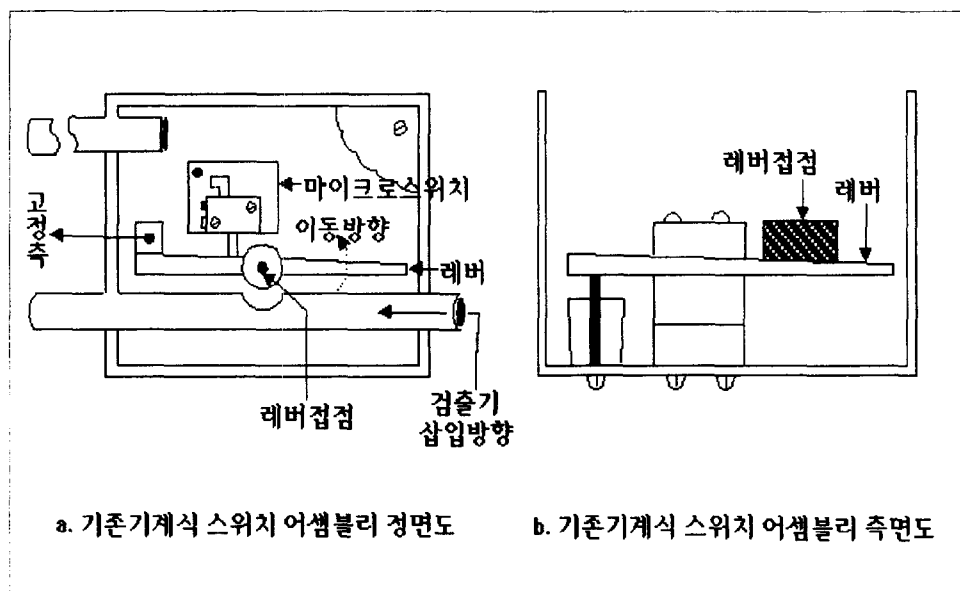
그 가운데 검출기구동장치 4개의 제한스위치들은 검출기가 삽입·인출될 때마다 검출기의 인출한계를 알려주어 파손을 방지할 뿐 아니라 콘솔에 검출기 삽입신호를 제공하여 노내중성자속 감시계통의 최적제어를 돕는 기능을 갖는다. 만일 스위치 결함으로 인한 오동작신호 발생 및 동작 불가능시에는 고가의 검출기 파손을 초래하며 이미 삽입된 검출기의 자동인출조차 불가능 해지므로 수동인출로 인한 작업자의 다량의 방사선 조사 및 경제적 손실을 감수해야한다. 그간의 운전경험을 통해 확인된 기계 제어방식의 구조적 문제점은 전자식으로의 대체, 개선없이 근본적 문제 해결이 어렵다고 판단되어 다음과 같이 개선한다.

2. 고장원인 분석 및 개선 현황

2-1. 스위치 결함원인

기존의 중성자속 감시계통은 수동 혹은 자동운전시 검출기가 노심내로 삽입·인출될 때마다 검출기가 레버접점을 단속하는 방식을 취하는데 이때 격납용기 내부의 진동과 열 등 환경적 요인 및 잦은 접촉으로 레버의 휘어짐 및 레버와 검출기와의 접촉위치(Contact Position)변경이 자주 발생하기 때문에 스위치 오동작 및 동작불능의 원인이 되고 있다.

과거 이 문제점을 해소하기 위해 레버 고정축 위치를 바꾸고 레버길이를 연장시켜 레버의 좌우 이동폭을 확장시키는 등의 개선작업이 이루어졌으나 역시 근본 결함원인(스위치 오동작)은 제거 되지 못했다.

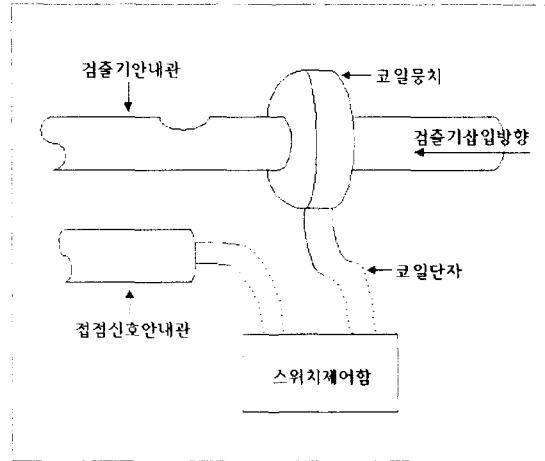


<그림-1>. 기존 기계식 제한스위치 구조

2-2. 스위치 개선

기존의 기계식 스위치를 그림-2와 같이 코일감지 전자제어방식으로 개선하였다.

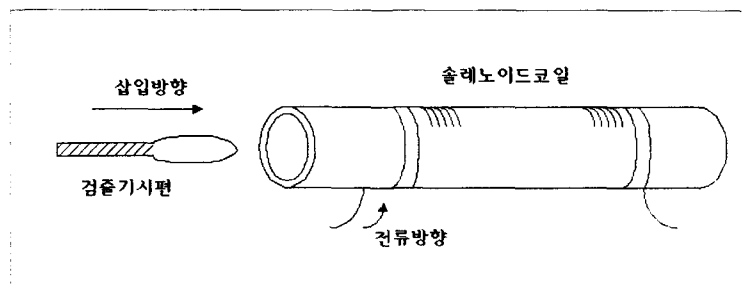
(기존의 기계식 스위치 케이스는 제거한 상태임)



<그림-2>. 개선된 전자식 인출제한스위치 개략도

2-2-1. 원 리

그림-3에서와 같이 솔레노이드 코일 양단에 일정한 전압을 가해준 상태에서 흐르는 전류 및 인덕턴스값을 각각 i_0, L_0 라고 하면 검출기 시편(자화성 물질)의 코일몽치 내부를 관통시 코일에 흐르는 전류 및 인덕턴스는 i_i, L_i 의 변화된 값을 갖게 된다. 이때 코일에 흐르는 전류값 변화(Δi)를 전압값 변화(ΔV)로 바꾸어 증폭시킬 경우 인출제한스위치 제어에 필요한 출력신호를 얻게 된다. 또한 이 코일에 콘덴서를 연결하고 외부에서 필요한 주파수를 갖는 펄스를 입력하여 공진상태를 만들어줄 경우 그 전압 변화폭은 더욱 커지므로 이 효과를 직접 스위치 제어회로에 적용하면 경우 명확한 스위치 제어신호를 얻을 수 있게 된다.



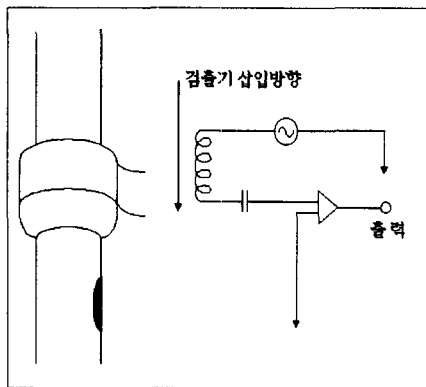
<그림-3>. 솔레노이드내의 자화물질에 의한 인덕턴스 변화측정도

2-2-2. 실험(Simulation)과정

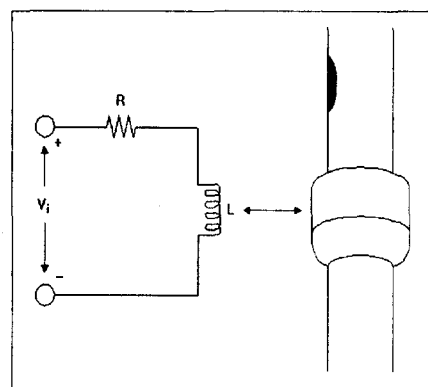
가. 코일배치 형태에 따른 전압이득 비교

여러 가지 코일배치 형태를 가지고 모의실험(Simulation) 한 결과 그림-4에서 가장 전압이득 효율이 높은 것으로 평가되어 그림-4와 같이 개선된 회로모형을 적용하였고, 그 특징을 보면 아래와 같다.

- 단일 코일로 구성
- 저항 콘덴서에 의한 공진증폭회로 구성
- 전압이득비율(삼입 : 인출) = 약 1 : 22.8



<그림-4>. 개선된 회로 모델



<그림-5>. 코일 인덕턴스 측정도

나. 코일의 인덕턴스 측정

위 그림-5와 같이 시험용 코일을 만든후 측정된 코일 내부저항값을 1072(Ω)으로 고정시키고 코일에 검출기 시편을 삽입시킨 상태에서 입력전압 102.3[V], 60[Hz]를 가한 경우에 측정하여 얻어진 전류값이 74.6[mA]였고, 인출 상태의 측정 전류값은 92[mA]였다. 따라서 검출기 시편 삽입 시 전류값 i_i 을 구하기 위해 식(1),(2)에 대입하면 아래와 같다.

$$i = \frac{V}{Z} \quad (\text{단 } Z = R + j\omega L, \omega = 2\pi f) \quad (1)$$

$$i_i(\text{삼입시}) = \frac{V_i}{R + j\omega L} = 0.0746 [A] \quad (2)$$

(2)식에 입력전압값 $V_i = 102.3[V]$ 을 대입하여 L_i (인덕턴스)값을 구하면 다음과 같다.

$$L_i = 2.2684[H]$$

동일한 방법으로 검출기 시편 인출시 전류값 i_o 를 구하면 식(3)과 같다.

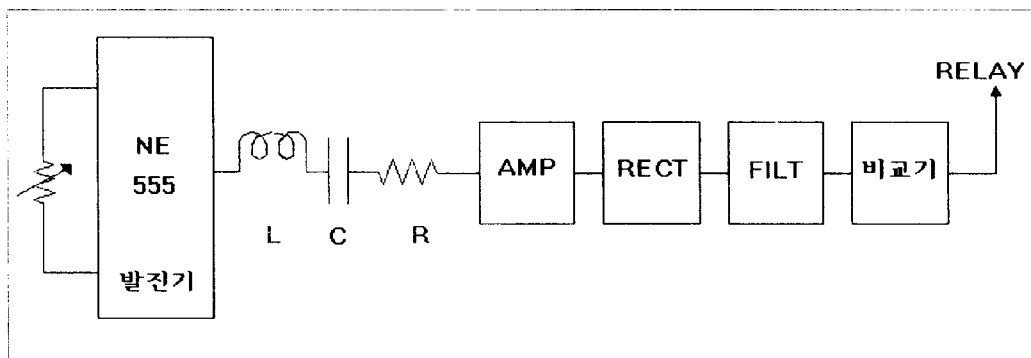
$$i_o(\text{인출시}) = \frac{V_i}{Z} = \frac{V_i}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \angle -\tan^{-1} \frac{\omega L}{R} = 0.092 [A] \quad (3)$$

식(3)에 입력전압값 $V_i = 102.3[V]$ 를 대입하여 L_0 (인덕턴스)값을 구하면 아래와 같다.

$L_0 = 0.783[H]$ (단 L_0 는 공진(인출)시 회로인덕턴스, L_i 은 비공진(삽입)시 회로인덕턴스를 의미함)

3. 실제 회로 적용

아래 그림-6은 개략적인 스위치 제어 회로도이며 가변저항 R을 조정(RC회로이므로 시정수를 조정하여 펄스 변화 가능)하면서 코일 "L"을 통해 검출기 시편이 인출된 경우에 공진되도록 설계한다. 여기서 총 임피던스를 표시하면식(4),(5)와 같다.



<그림-6>. 스위치 제어회로도

$$L_t(\text{총임피던스}) = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \quad (4)$$

$$|Z_t| = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} \quad (5)$$

위 식에서 공진조건 ($\omega L = \frac{1}{\omega C}$)을 만들어 주면 임피던스는 순저항R 성분만 남게 되고 제어회로는 공진상태로 된다. 이때의 공진주파수(f_0)값을 구하면 아래와 같다.

$$\omega_0 = \frac{1}{L_0 C} \quad (6)$$

식(6)에 대입하면 $\omega_0 = 16501.6$

단 L_0 : 공진시 인덕턴스

C : 콘덴서

f_0 : 공진 주파수

$$\therefore f_0 = \frac{16501.6}{2\pi} = 2.627[KHZ]$$

검출기가 삽입된 상태에서의 주파수(f_0)값을 구하기 위해 동일한 방법으로 정리하면 식(7)과 같다.

$$W_i = \frac{1}{L_i C} = \frac{1}{2.26841 \times 0.0047 \times 10} = 9689.9 \quad (7)$$

단 L_i : 비공진시 인덕턴스

$$\therefore f_i = 1.54 [KHZ]$$

따라서 $\frac{f_0}{f_i} = 1.7$ 이 되므로 $f_0 = 1.7 f_i$ 관계가 성립한다.

지금까지의 결과를 제어회로에 적용하면 기존의 기계식 스위치 구동에 의해 발생하는 신호와 동일한 신호를 얻을 수 있는데 릴레이 구동을 포함한 전과정을 간략화하면 표-1과 같다.

< 표-1 : 발생 신호 >

검출기 상태	릴레이 상태	LED 상태	스위치 상태
삽입 상태	ON	OFF	ON
인출 상태	OFF	ON	OFF

4. 결 론

공진을 이용한 본 제어회로는 구별된 입력신호를 릴레이 구동회로에 제공하여 콘솔에서의 정상적인 제어가 가능하게 되었다. 또한 고조파잡음에 의한 노이즈(Noise)의 영향 및 공진에 의한 상호간섭을 차단하기 위해 전원입력측에 콘덴서를 설치하여 4개의 제어회로가 독립적으로 동작할 수 있게 되었다. 본 설비개선 결과의 현장적용후 자체모의(Simulation) 시험을 거쳐 발전소의 주기적인 점검에 실제 사용한 결과 검출기 삽입·인출시 정확한 점점신호 발생을 확인하였고 기계식의 근본 결함을 완전 해소 함으로서 정교한 시스템 제어는 물론 설비 운영의 경제성을 높이는데 기여하였다.

참고문헌

1. TELEFLEX CO, "FLUX MAPPING SYSTEM".
2. David E.Johnson, John L.Hilburn and Johnny R.Johnson, "Basic Electric Circuit Analysis", Prentice-Hill (1991).
3. 姜明求 · 趙康石 共著, "電氣磁氣學", 韓國理工學社(1990)
4. 조병욱, "원자로 설비", 한국전력공사(1991)
5. 이광규 · 박제원 공저, "원자로 노심관리", 한국전력공사(1991)
6. 최정성, "노내핵계측설비", 한국전력공사(1991)