

원전 노외 핵계측 검출기 성능진단 시스템 구현

최용구*, 정창규*, 이재기*
한국수력원자력(주) 원자력발전기술원*

Development of Performance Evaluation System for The Ex-Core Instrumentation Detector of Nuclear Power Plant

Choi-Yong Goo*, Jung-Chang Gyu*, Lee-Jae Ki*
Korea Hydro & Nuclear Power CO.LTD Nuclear Engineering & Technology Institute*

Abstract - 원전에 설치되어 있는 노외 핵계측 검출기는 설계수명과 품질보증 수명의 차이가 크기 때문에 적절한 검출기 교체 프로그램의 수립이 어렵다. 따라서 본 논문에서는 노외 핵계측 검출기에 대한 노화 진행정도 판단 및 최적 교체주기 수립을 위한 원전 노외 핵계측 검출기 성능진단 시스템 및 분석기술에 대해 고찰하였다.

1. 서 론

원전의 노외 핵계측 설비는 원자로 출력준위를 지속적으로 감시하여 원자로 출력상태에 따라 제어 및 보호신호를 제공하는 설비이다[1].

노외 핵계측 설비 검출기의 고장이나 성능저하가 발생되면 안전운전에 미치는 영향이 크기 때문에 설비에 대한 주기정비를 수행하고 있다. 특히 원전의 안전성에 영향을 미치는 검출기가 고장이 발생되지 않도록 예측정비가 필수적이기 때문에 본 논문에서 노화 진행정도를 판단할 수 있는 진단 알고리즘을 탑재한 시스템 개발을 통해 분석기술에 대해 고찰하였다[2].

2. 본 론

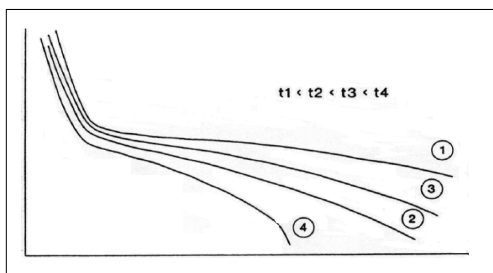
2.1 노외 핵계측 검출기 성능진단 확인방법

검출기 진단시험에서 취득한 신호의 상관관계 특성을 분석하여 검출기의 노화 진행정도를 판단한다.

2.1.1 판별기 곡선

판별기 곡선의 기울기 정도에 따라 검출기 노후화 정도를 그림 1.와 같이 분석할 수 있다[3].

- 곡선 ① : 신규 검출기의 특성곡선
- 곡선 ② : 사용년도가 증가하면서 곡선 ②로 이동
- 곡선 ③ : 검출기 교체 준비가 필요한 시점
- 곡선 ④ : 검출기 교체가 필요

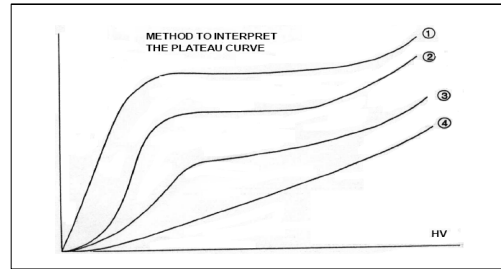


<그림 1> 판별기 곡선

2.1.2 플레토우 곡선

플레토우 곡선은 검출기 노후화 정도를 분석할 수 있는 중요한 지표로 곡선 곡률의 갑작스러운 증가나 플레토우 경사의 증가정도로 판단한다. 그림 2.는 플레토우 곡선을 보여준다[3].

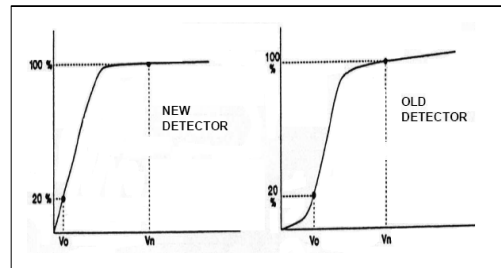
- 곡선 ① : 곡선의 곡률이 완만하며 플레토우가 명확함
- 곡선 ② : 곡선의 곡률 증가하며 플레토우의 폭이 좁아짐
- 곡선 ③ : 플레토우 특성손상(검출기 성능저하)
- 곡선 ④ : 플레토우 사라짐(검출기 교체)



<그림 2> 플레토우 곡선

2.1.3 V₀ 인자

V₀(고전압)은 전류가 정격전압의 20%에 도달할 때 전압 값으로 그 값이 클수록 검출기 노화정도가 심해진다[3].



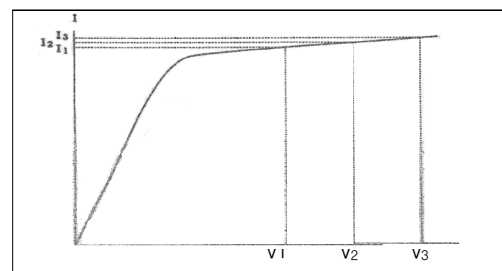
<그림 3> 노후 검출기의 곡선 시작부분

2.1.4 P 인자

플레토우 곡선의 모양과 V₀ 및 P(플레토우 경사)인자와 관계에 취득한 곡선들을 함께 확인해야 한다. 그림 4.은 플레토우 경사도를 보여주면 플레토우 경사의 산출식은 (1)과 같다[3,4].

$$P = \frac{I_3 - I_1}{I_2} \times \frac{100}{V_3 - V_1} \times 100 \quad (1)$$

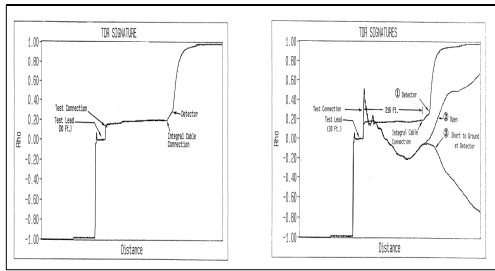
만일 V₀<70V이고 P<6%이면 검출기는 정상이며 곡선의 모양에서 중대한 변화가 나타나거나 V₀>70volts 이상이 되면 손상이 시작된 것이고 플레토우가 명확하지 않거나 V₀ > 140volts 또는 P>6% 이면 검출기를 교체해야 한다.



<그림 4> 플레토우 경사

2.1.5 TDR 장비를 이용한 성능확인

그림 5는 TDR(Time Domain Reflectometer)장비를 이용하여 측정된 파형을 보여주는데 그림 5(b)는 검출기와 신호선에 대한 이상상태 파형을 보여주고 있다[4].



(a) 정상 출력파형 (b) 이상 출력파형
 <그림 5> 검출기 TDR 출력파형

2.1.6 정전용량을 이용한 성능확인

검출기내의 습분이 유입되면 정전용량이 증가감소하게 되어 검출기의 성능을 확인할 수 있다[3].

2.2 성능진단 알고리즘 개발

검출기에 대한 노화진행 정도를 판단할 수 있는 진단 알고리즘은 다음과 같이 구현하였다.

- 고전압 플래토우 곡선 : 노후화 진행에 따른 플래토우 곡선 기울기(Slope) 증가 확인
- 고전압 초기 포화곡선 : 노후화 진행에 따른 초기 포화곡선 기울기 감소 및 곡률변환 확인
- 판별기 곡선 : 노후화에 따른 판별기 곡선 기울기 증가 확인
- 정전용량 : 노후화에 따른 정전용량 증가 혹은 감소 확인
- 절연저항 : 노후화에 따른 절연저항 감소 확인

표 1 검출기의 노화 진행에 따른 인자변환 특성

측정 인자 사용 년수	곡선 기울기			정전용량	절연 저항
	플래토우	플래토우포화	판별기곡선		
초기	평탄	직선(일정)	평탄	일정	일정
중기/말기	증가	곡률변환	증가	변화 (증가/감소)	감소

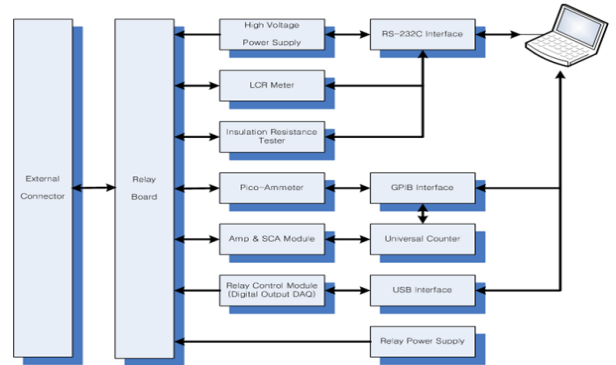
표 2. 성능진단 알고리즘

	곡선 기울기			정전 용량	절연 저항	조치사항
	플래토우	포화곡 선	판별기			
측 정 인 자 상 태	양호	양호	양호	양호	양호	-
	양호	양호	양호	변화	양호	점검
	양호	양호	양호	양호	감소	점검
	증가	양호	양호	양호	양호	상태감시
	증가	증가	양호	양호	양호	상태감시
	증가	증가	증가	양호	양호	상태감시
	증가	증가	증가	양호	감소	교체
	증가	증가	증가	감소	감소	신속한 교체

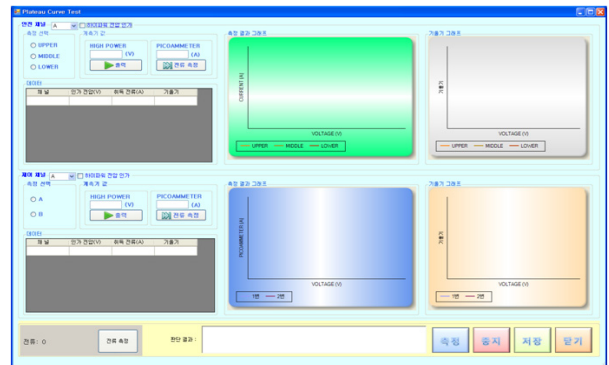
2.3 성능진단 시스템의 구성

원전 노외 핵계측 검출기 성능진단 시스템은 하드웨어와 소프트웨어로 구성되어 있으면 하드웨어는 High Voltage Power Supply, Pico-Ammeter, Insulation Resistance Tester, LCR Meter, Frequency counter, Amp&SCA Module 등 분석컴퓨터를 통해 검출기의 동작전압을 제어할 수 있도록 구성되어 있다. 소프트웨어는 취득된 정보를 이용하여 검출기 성능을 진단할 수 있는 응용프로그램으로 구성되어 있다.

그림 6은 성능진단 시스템의 하드웨어 개략도이며, 그림 7은 운영소프트웨어의 플래토우 곡선 측정 화면을 보여주고 있다.



<그림 6> 성능진단 시스템 하드웨어 개략도



<그림 7> 운영 소프트웨어

3. 결 론

원전 노외 핵계측 성능진단 시스템은 현장 엔지니어의 경험에 의존하던 기존 진단방법의 한계를 극복하기 위해 알고리즘에 기반을 두었다.

성능진단을 위해 사용된 알고리즘 인자는 플래토우 곡선, 판별기 곡선, 정전용량 및 절연저항 등이 있다. 본 논문에서 제시한 알고리즘은 노외 핵계측 검출기 및 방사선 검출기에 적용하면 검출기 노화 진행정도를 판단할 수 있기 때문에 예방정비 및 적기 교체가 가능하게 되어 원전의 안전운전에 도움이 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국수력원자력(주) 원자력교육원, “계측-16 노외 핵 계측설비”, pp1-10, 2006
- [2] 한국수력원자력(주) 원자력발전기술원, “2단계 예방정비기준”, pp509-565, 2008
- [3] Data System & Solutions, “Neutron Detector Operation Curves Analysis”, pp1-9, 2008
- [4] Westinghouse, “A Predictive Maintenance and Evaluation Guide for Ex-Core and In-Core Detector Used in Westinghouse Pressurized Water Reactors”, pp31, 2002