

원자력 발전소 손발오염 검사장비 설계

· 박 종범*, 윤 기갑*, 김 종선**, 손 창호**
 *한국전력공사 전력연구원 ** (주)삼창기업

Design of Hand and Foot Radiation Contamination Monitor in Nuclear Power Plant

· Jong Beom Park*, Yoon Gi Gab*, Jung Seon Kim**, Chang Ho Sohn**
 *Korea Electric Power Research Institute ** Samchang Enterprise Co.,Ltd

Abstract - When changing old parts of the System or establishing new system of the Nuclear power plant it's contribution that given effective economics and learning radiation detector and protect contamination for human. It will be contributed to minimizing pollution of employee for radioactivity as spread of supply with the products in cheaper price than foreign products in new or existing N.P.P.

1. 서 론

오늘날 현대 산업은 매우 빠른 속도로 발전하고 있으며, 그 발전 속도와 비례하여 전기 사용도 급속도로 증가추세에 있다. 그러나 인류의 소모자원의 한계성으로 말미암아 전기를 생산 할 수 있는 것 중 가장 큰 부분을 차지하는 것은 원자력을 이용한 전력산업일 것이다.

원자력발전의 의존도는 나날이 높아지고 있고 그만큼 원자력발전소의 안전운전 및 안전사고 방지에 대한 중요성도 커지고 있으며, 원자력을 이용하는 발전소에 따른 가장 큰 문제점은 방사능 누출에 의한 방사선의 피해를 들 수 있는데 방사선은 사람의 눈에 보이지 않을 뿐 더러 그 피해 또한 바로 나타나지 않고 인간에게 치명적인 피해를 입힌다. 따라서 이들 방사선에 의한 피해를 미연에 방지 또는 최소화하는 데에는 이들의 양이나 존재여부 등을 측정할 수 있는 검출기를 비롯한 기타장비의 사용이 필수적으로 요구된다. 하지만 현재 대부분의 원자력발전소 또는 기타 방사성물질 취급기관에서 사용되고 있는 방사선측정 장비는 국내 생산제품이 없어 값비싼 외국제품을 수입하여 사용하고 있는 실정이다. 이러한 시기에 방사선측정장비의 국산화는 필요불가결(必要不可缺)한 과제가 아닐 수 없다. 국내에서는 아직까지 방사선검출기를 비롯한 주요장비개발 또는 이를 생산하는 업체가 전무한 상태여서 원전 고도화 및 국산화에 하나의 걸림돌로 작용하고 있다.

현재 운전중이거나 신설예정인 원전의 오염구역 및 폐기물 저장고등의 출입자에 대한 방사선 안전 관리에 사용케 하는 것과 더불어 이로 인하여 원전 내 노후화 장비 교체 및 수리용 부품 구매시 예산 절감 효과를 거둬와 나아가 우리 나라 원전 전체의 국산화에 조금이나마 기여하여 국가경쟁력을 높이는 등 여러 가지 장점들이 있다.

본 논문에서는 이러한 국내 현실에서 처음으로 제품을 개발하기 위해 외국개발 사례, 외국견본제품 분석, 동작원리 분석 등을 조사하고 이를 참조하여 시제품 제작은 어떤 방식으로 설계되어야 하는지를 제시하였다.

2. 손발오염 검출기의 원리와 견본품 분석

2.1 검출기의 원리

비례계수기(Proportional Counter)는 가스 충전 검출기의 한 유형이고 1940년대 후반에 도입되었다. 이것

은 가이거-뮐러관(Geiger Mueller tubes)과 같이 펄스모드로 조작되어 가스관의 내부에서 최초로 형성된 이온쌍의 전하를 증폭하는 이른바 가스증배(gas multiplication)의 현상에 기초를 두고 있다. 따라서, 비례계수기의 출력펄스는 같은 조건하에서 사용된 이온쌍으로 부터의 펄스에 비해 매우 크고 방사선으로 형성된 이온쌍의 수가 너무 적어서 펄스형 이온쌍으로서 만족한 조작성 할 수 없게 되는 상황에 대해서 비례계수기가 사용된다.

가. 전자사태(電子沙汰)의 형성

가스 내부에서의 전기장을 아주 높게 하면 가스증배(增倍)가 발생된다. 낮은 전기장에서는 입사방사선에 의해서 형성된 전자와 이온은 각각 집전전극(Collecting Electrodes)으로 간단히 유동하게 된다. 이 전하가 이동하는 중에 중성 가스분자와 여러 번의 충돌을 하게 된다. 전자나 이온들의 낮은 이동도 때문에 양이온이나 음이온은 충돌간에 적은 에너지를 얻을 수 있다. 그와는 반대로 자유전자는 인가전기장(印加電氣場)에 의해서 쉽게 가속되어 이런 충돌 하에서는 큰 운동에너지를 가질 수 있으며, 이 에너지가 중성 가스분자의 이온화 에너지 보다 큰 경우에는 충돌 중에 추가적인 이온쌍을 만들 수 있게 된다.

충돌간의 전자의 평균 에너지는 전기장과 더불어 증대되기 때문에 이 2차 이온화가 일어나는 전기장에는 문턱값이 존재한다. 1기압하의 보통 가스에서는 이 문턱값은 10⁶v/m 정도이다. 이 2차 이온화 과정에서 생성된 전자도 전기장에서 가속된다. 이 전자도 유동(Drift)하는 동안 중성 가스분자와 충돌해서 추가적인 이온화가 발생한다. 따라서, 이 이온화 과정은 타운젠트 전자사태(Townsend avalanche)라고 불리는 Cascade형을 취하고 처음 충돌에서 생성된 개개의 자유전자가 같은 과정에서 더 많은 자유전자를 만들 능력을 갖게 된다. 단위 길이당 전자수의 미소한 증가는 아래식과 같이 증가하게 된다.

$$\frac{dn}{n} = \alpha dx$$

여기서, α 는 가스에 대한 첫 번째 타운젠트 계수로 불려진다.

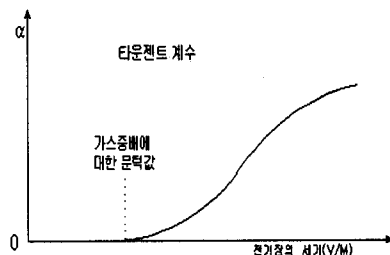


그림 1. 제 1타운젠트 계수

이 값은 문턱값 이하의 전기장에 대해서는 영이고 이 최소치 이상인 전기장의 세기가 증가함에 따라서 커진다. 그림1은 제1타운센트 계수를 나타낸다.

공간적으로 일정한 場(평행한 구조에서와 같이)에 대해서 α 는 타운센트 식에서는 일정한 값이다. 이 때는 전자의 밀도가 전자사태(Avalanche) 과정으로서 거리와 더불어 지수적으로 커짐이 예측된다.

$$n(x) = n(0)e^{\alpha x}$$

대부분의 비례계수에 사용되는 원주형 구조에 대해 전기장은 전자사태가 진행되는 방향으로 증가되고 또 거리를 갖는 성장은 매우 가파르다. 비례계수기에서는 전자의 전부가 양극에 도달하여 초기의 전자사태는 끝나게 된다. 적당한 조건하에서 2차 이온화 현상의 수는 생성된 1차 이온쌍의 수에 비례하나, 이온의 총수는 수천 배로 증가된다. 검출기 자체에 대한 이 전하증폭(Charge amplification)은 외부증폭기에 대한 요구를 완화시켜 펄스형 이온함파 비교되어 신호 대 잡음 특성을 현저하게 개선한다. 전자사태의 형성은 들뜬 원자 또는 분자상태의 변화가 형성될 수 있는 많은 강력한 전자-원자 충돌이 개입된다. 그러므로, 비례계수기의 성능은 이온함의 경우보다 충전가에서의 불순물의 성분 또는 있었던 자국(Trace)에 훨씬 더 많이 민감하다.

나. 검출기 동작 영역

펄스 모드로서 조작한 여러 가지 유형의 가스계수기의 차이를 그림2에 나타냈다.

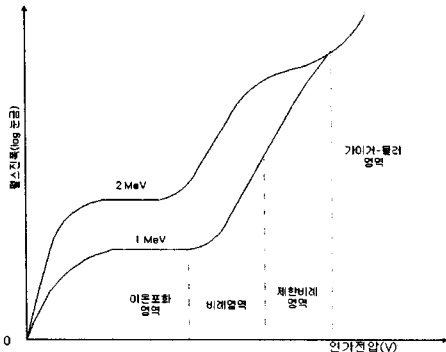


그림 2. 펄스 모드에 의한 가스계수기의 차이

검출기로부터 관측된 펄스의 진폭을 인가전압이나 또는 검출기의 내부에서의 전기장에 대해서 위 그림2에 도시(圖示)되었다. 아주 낮은 전압에 대해서 전기장은 최초의 이온쌍 재결합을 방지하기에는 불충분하고, 수집 전하는 최초의 이온쌍의 전하보다 적게 된다. 전압을 올림에 따라 재결합은 억제되고 이온 포화 영역(Region of ion saturation)에 도달하며, 이 영역이 이온화함(Ion Chamber)작동의 정상 모드(이온영역)이고 좀더 자세히 설명하면 전압을 올리면 가스증배가 시작되는 문턱 전기장에 도달한다. 여기서 수집된 전하는 증배 되기 시작해서 펄스진폭은 더 증대된다.

전기장의 어떤 범위에 걸쳐서 가스증배 선형성(線形性)을 유지하고 수집전하는 입사방사선에 의해서 생성된 최초의 이온쌍에 비례한다. 이것이 참 비례영역(True Proportionality Region)이고, 보통의 비례계수기의 조작 모드의 영역이다. 일정한 조작 조건하에서는 전하는 크게 증폭되어 관측된 펄스진폭은 더욱 더 계수기 내에서 생성된 이온쌍의 수를 나타낸다. 인가전압이나 또는 전기장을 더욱 더 증가시키면 비선형 효과가 일어나기 시작하며, 이 효과 중에서 가장 중요한 것은 개개의 이온화 과정에서 생성된 양이온에 관계가 있다. 자유전자는 신속하게 수집되지만 양이온은 훨씬 더 느리게 움직이고 전자를 수집하는 시간 동안은 거의 움직이지 않

게 된다. 따라서, 계수기 내에서는 각 펄스는 양이온의 구름(Cloud)을 만들고 이 구름은 음극을 향해 유동하면서 서서히 퍼진다. 이 이온의 농도가 아주 높게 되면 공간전하를 형성하여 검출기 내에서의 전기장의 분포의 모양을 크게 변화시키며, 그 이상의 가스증배는 이 전기장의 크기에 크게 좌우되므로 비선형성이 관측되기 시작된다. 이 효과는 제한 비례영역(Limited Proportionality Region)의 시작을 나타내고, 이 영역에서의 펄스 진폭은 처음 이온쌍의 수가 증가함에 따라 증대되지만 그 선형성은 의미가 없어지게 된다. 인가전압을 아주 높게 하면 양이온에 의해서 생성된 공간전하가 완전하게 지배적이 되어 그 후의 펄스의 거동은 결정된다. 이런 조건하에서는 양이온의 수가 증가하고 가스증배가 발생케 되는 값 이하로 전기장이 강화될 때까지 전자사태가 진행된다. 따라서, 이 과정은 자체 유한형(有限型)이고 입사방사선에 의해서 생성된 처음 이온쌍의 수와는 무관하게 동일한 전체 양이온의 수가 형성될 때에 종료된다. 검출기로부터의 각각의 출력펄스는 같은 진폭을 나타내고 더구나 입사방사선의 성질을 전혀 반영하지 않게 된다. 이것이 가이거뮐러 영역(Geiger-Mueller region)이다.

2.2 견본품 분석

견본품 분석은 Berthold사의 BZ200XK-P Hand Probe를 구입하고 Detector 분해하여 HVPS(Hige Voltage Power Supply) 회로분석, 도면분석 수행하고, 또한 견본 Detector의 성능시험을 수행하였다.

가. HVPS 분석

단순한 기능임에도 불구하고 전자회로 부분의 집적화가 이루어지지 않은 상태였으며 부품 또한 시중에서 구하기 어려운 생산중지된 것들이 다량 포함되어 있었으며, 아래 그림3은 분석한 회로를 간단히 블록(Block)으로 표현한 것이다.

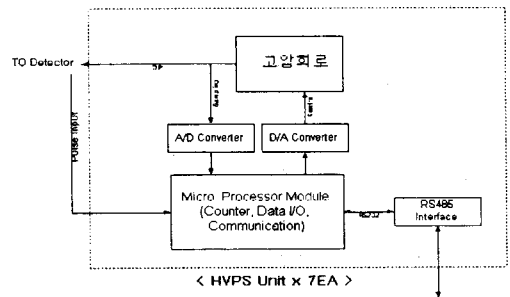


그림 3. HVPS Block Diagram

나. 견본 Detector 성능시험

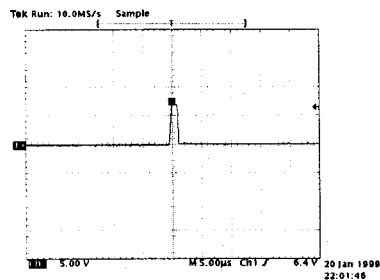


그림 4. 견본 검출기의 Back Ground 상태 측정

- Berthold사의 Hand Probe(BZ200XK-P)에 제작

한 검출기 Tester를 이용하여 전원인가 후 Back ground 상태에서 출력 파형을 관찰한 결과 위 그림4와 같은 파형을 관측할 수 있었다. 이 파형은 시작품 설계 제작시 참고자료로 비교하기 위해서 측정하였다. Back ground 상태는 자연상태에서의 방사능 상태를 측정한 것이다.

- 이번에는 전원인가 후 β -Source(90Sr-90Y)를 조사 하였을 경우 출력 파형을 관찰한 결과 아래 그림5와 같은 파형을 관측할 수 있었다. 이것 역시 시작품 설계 후 정확하게 설계되었는지 비교하기 위해서 측정하였다.

다. 건본 검출기 가스 분석

검출기의 정확한 성분을 분석하기 위하여 표준과학연구원 화학분석실에 의뢰하여 저 진공시료의 가스량 분석법 사용하여 분석하였다. 분석결과 공기의 영향을 0%로 했을 때 Xe(95%) : CH₄(5%)이 비율로 두 종류의 가스가 혼합되어 있음이 밝혀졌다.

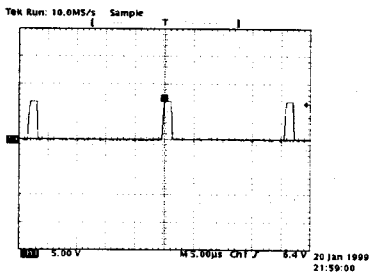


그림 5. 건본 검출기의 90Sr-90Y 조사시 상태 측정

3. 손발오염 검사장비 시작품 설계

앞장에서 서술한 내용을 참조하고 현장 운전원들의 의견을 수렴하여 일단 1차 시작품을 설계하였다. 그림6은 손발오염 검사장비 전체를 구성하는 블록들을 나타낸 것이다. 개발제품은 기존에 설치되어있던 외국 제품보다 검출효율이 우수하고 유지정비가 용이하며 경제성을 더한 시스템으로 구성하였다.

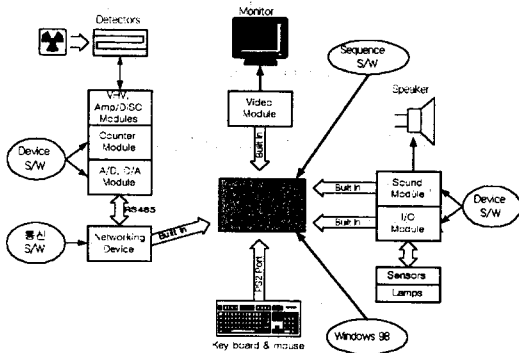


그림 6. 시작품 구성도

3.1 검출기 설계

시작품 설계에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 부분은 다른 아닌 방사선 검출기의 설계라 할 수 있을 것이다. 그런 만큼 검출기 설계는 다른 부분에 비하여 비중이 컸다고 할 수 있다. 이전에 검출기설계를 수행한 적은 있으나 설계가 실패하여 아직 국내에서 제품화에 성공하지 못한 가스 밀봉형 비례계수기(Gas Filled Type

Proportional Counter)형태로 설계하였다. 설계 제작한 검출기의 공식적인 시험성적 Data를 제시하지는 않았지만 자체 실험결과로 미루어 성공을 확인할 수 있었다.

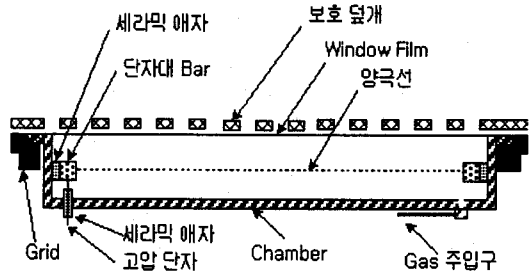


그림 7. 설계한 검출기의 구성도

3.2 통신 Interface Board 설계

현재 국산화 개발중인 Hand & Foot Monitor의 Processing Unit은 산업용 PC Base로 구성되어 있으며 외부와의 통신수단은 LAN Port와 RS232C Serial Port와 Printer용 Parallel Port가 전부이다. 이중 비교적 원거리통신용으로 쉽게 사용이 가능한 것이 RS232C 통신Port이다. 하지만 RS232C 통신방식은 전송거리가 길어질수록 외부잡음에 약하다. 따라서 PC에서 지원하는 RS232C통신 방식을 전유신호방식인 RS485통신 방식으로 변환하는 H/W의 개발이 필요하게 되었는데 이것이 PC Interface Board인 'RS232C To RS485' Board이다. 이번에 국산화 개발중인 손발 오염 검사장비는 각 지역에 흩어져 있는 HVPS Unit과 Processing Unit(산업용 PC)와의 통신에 있어서 RS485전송방식을 사용하여 서로 Data를 교환한다. 본 장비는 PC에 장착되어있는 RS232C Port에 바로 PC Interface Board를 붙여 RS232C Line을 최소화하였다. Cable은 Flat telephone 6P cable(선택이유: 외관이 미려하고 부드러운 휨 상태가 양호하고 기계적인 힘에도 잘 끊어지지 않음. 또한 Spare회선 및 전원회선 확보를 위하여 6P cable이 적절하였다.)양쪽 끝에 Module간 Connection이 용이한 Moduler Jack (RJ12)을 사용하여 작업성이 용이하도록 하였다.

5. 결 론

국내에서 아직 검출기의 국산화 개발이 없었던 관계로 검출기를 구동하고 제어하는 장비(Driver)의 개발제품이 전무한 시점에서 방사선검출기 Driver(HVPS Unit)를 합리적인 설계기법으로 전자회로의 집적도를 높일 수 있도록 하였고, Computer Interface와 적절한 통신Protocol을 개발하여 도입함으로써 기존 외국제품의 경우 통신 Cable이 어지럽게 배선되어 있던 단점을 개선할 수 있게 되었고, 통신방식의 국제 표준화와 간소화로 유사제품의 응용개발에 길을 열어 사용자 및 운영자 뿐 만 아니라 개발자의 편의성을 제공하도록 구성하였다. 이를 기초로 하여 앞으로는 국산화 될 수 있도록 연구가 계속 시행되어야 할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 박종범 등, 손발오염 검사장비 국산화 개발 중간보고서, 전력연구원, 2000.4.
- [2] 한일레벨 기업부설연구소, "방사선 계측기술 이론".
- [3] 한국전력공사, "원자력 발전소 방사선 안전 관리 지침", 한국전력공사, 1998.