

# 방사선 경보 장치의 국산화 개발 및 실용화

김 희 근

한전 전력연구원 원자력연구실 선임연구원

## 서론

**한**전 전력연구원은 원자력 발전소에서 종사하는 방사선 작업 종사자의 과피폭 방지를 위해 다양한 기능을 갖춘 휴대용 방사선 경보 장치를 개발하였다.

본 방사선 경보 장치는 10 mR/hr에서 약 100 R/hr까지의 측정 범위에서  $\pm 5\%$  이내로 정확도 유지가 가능하고 강력한 경보 기능을 갖추고 있다.

또한 경보 발생 전후 일정 시간 동안 방사선량을 등의 자료에 대한 저장이 가능하고, 개인용 컴퓨터와의 데이터 송수신 및 데이터 처리가 가능한 것이 특징이다.

특히 본 방사선 경보 장치는 개발과정 중에 한국표준과학연구원(KRISS)에서 미국 ANSI N42.17A (1989) 성능 시험 조건에 따라 시험을 실시하여 통과하였다.

산업의 고도화와 더불어 국내에서도 각 분야에서 방사성 동위원소의 사용이 급격히 늘어나고 있다. 또한 가동되는 원자력발전소의 호기 수가 늘어남에 따라 이에 비례하여 원전 작업자의 방사선 피폭량 등도 늘어나고 있는 추세이다.

이에 비해 방사선 피폭이나 환경 방사능 오염에 대한 규제는 날로 강화되고 있다.

방사선에 의한 작업 종사자의 과피폭의 방지 목적 이외에도 비록 법적 선량 한도 이내에서의 피폭이라도 ALARA를 위한 방사선 피폭 저감의 중요성이 강조되고 있다. 이에 따라 정확성과 신뢰성을 갖춘 방사선 계측기 개발의 필요성이 절실히 요구된다고 말할 수 있다.

현재 국내 원전에서 이용되고 있는 휴대용 방사선 계측 장비를 방사선 작업 조건에 따라 다양한 종류의

장비가 사용되고 있으나, 국내에서의 개발이나 국산화에 의해 제작된 것은 거의 없고 대부분이 외국에서의 수입에 의존하고 있는 실정이다.

국내 원자력발전소는 제5차 장기 전력 수급 계획에 따르면 2015년까지 총 14기, 용량으로는 1,530만 kW의 원자력발전소를 추가로 건설할 계획으로 있다.<sup>1)</sup>

따라서 현재 가동 또는 건설중인 원자력발전소를 포함하여 신규 발전소의 건설까지 고려해 볼 때 방사선 피폭량이 늘어날 것으로 예상된다.

이에 따라 원자력발전소에서의 방사선 계측 장비의 사용 또한 더욱 늘어날 것으로 예상된다.

본 연구에서는 원자력발전소와 같이 복잡한 방사선장을 측정할 수 있도록 다양한 기능을 갖춘 휴대용 방사선 계측 장비를 국내 기술진에 의해 자체적으로 개발하였다.

이를 위해 국내외에서 사용중인

1) 제5차 장기 전력 수급 계획, 산업자원부

방사선 계측 장비의 규격 및 요건을 조사하여 사양을 결정하고 장비를 설계/제작하였다.

또한 미국 ANSI N42.17A (1989)의 성능 시험 요건에 따라 특성 시험을 실시하여 통과하였다.<sup>2)</sup>

본 장비는 원자력발전소에서 고 방사선 피폭이 예상되는 작업시 작업자가 직접 휴대하고 작업 구역에 출입함으로써, 작업중에는 작업자의 과피폭 등을 방지하고 작업 후에는 기록된 데이터를 분석해봄으로써 차후에 동일한 유형의 방사선 과피폭을 방지할 수 있도록 하였다.

**장치의 사양결정 및 요건 분석**

휴대용 방사선 경보 장치는 일반적으로 X-선이나 감마선에 대해 80KeV에서 1.5MeV 정도의 에너지 범위에서 측정이 가능해야 한다. 그러나 경우에 따라서는 이 에너지 범위를 넘어선 50KeV에서 수 MeV 범위에서 측정이 가능해야 한다.

측정 위치에 따라 측정값이 변화하는 방향 의존성을 최소화하여야 하며, 급격한 방사선 준위의 변화에 대한 응답 시간 등도 짧아야 한다.

또한 X선이나 감마선 이외의 다른 전자기파 등에 의한 반응이 없어야 하며, 휴대용 경보 장치로서 전

〈표 1〉 각 원전의 경보 장치 사양에 대한 의견

발전소명 항목	울진	고리 1	고리 2	결정된 사양
표기	국문	영문	국문	국문
계기 표시	digital	digital	digital	digital
측정 범위	0~100 R/h	0~5 R/h	0~100 R/h	10mR/h~100R/h
전원	DC (Dry~Cell)	DC (Dry~Cell)	DC (Dry~Cell)	DC (Dry~Cell)
경보 해제 장치	수동	일정 시간 후 해제	수동	혼합형 또는 수동
경보 작동 전후 측정 데이터 보관 시간	경보 동작시의 전 20분/후 10분	경보 동작시의 전 5분/후 20분		경보 동작시의 전 40분/후 20분
경보 장치의 위치	부착형	부착형	부착형	부착형
추가기능	공기중 방사능 농도 측정 장치의 개발	○ 점검 선원 ○ 사용 설명서 ○ 표준 절차서	○ 점검 선원 ○ 검출기의 위치 (내장형 혹은 외장형) ○ Switch의 견고성	○ 검출기의 종류 및 부착 방법, 방사능 세기 등 ○ 검출기는 외장형

원은 건전지로 공급이 가능해야 한다.

이외에도 물리적 환경 변화에 따른 온도·습도 및 진동 등 환경 조건으로부터 보호될 수 있는 케이스로 제작되어야 한다.

장치의 제작에 앞서 2회에 걸쳐 원자력발전소에서 사용중인 휴대용 계측장비에 대해 실질적으로 필요한 사양에 대한 의견을 조사하였는데 그 결과는 〈표 1〉과 같다.

개발하고자 하는 방사선 경보 장치의 성능 평가와 품질 보증을 위해 각국의 휴대용 방사선 측정 장비의 성능 시험 조건 및 방법을 조사하였다.

그 대표적인 성능 시험 기준이 미국표준협회의 ANSI N42.17A (1989)이다. 본 성능 시험 조건에 관한 요약은 〈표 2〉와 같다.

**장치의 설계 및 제작**

**1. 검출기의 선정**

검출기는 측정 원리 및 구성 재료·크기·형태 등에 따라 비례계수기·섬광검출기 및 반도체검출기 등이 사용되고 있다.

원자력발전소에서와 같이 측정 대상이 X선 및 감마선 검출이 목적

2) Performance specifications for health physics instrumentation-portable instrumentation for use in extreme environmental conditions, American National Standard Institute, ANSI 42.17A(1989)

〈표 2〉 ANSI에 의한 표준 시험 조건

항 목	표준 시험 조건하에서의 허용 범위
예열 시간	≤ 10 min
상대 습도	실험실 습도의 ±10%~최대 75%
실험실 온도	20°C~24°C
대기압	70~106kPa
공급 전압	일반 공급 전압 ±1%
주파수	60 Hz ± 0.5Hz
공급 교류 전압의 진폭	변동폭 ≤ 1%
조사 방사선 각도	입사면 동축선 ± 0.5%
기저 방사선	장비 전체 측정 범위의 ≤ 2.5%
외부의 비전리 전자기파	간섭의 원인이 될 수 있는 최저값의 50% 이하
외부로부터의 자기장	지구 자기장에서 기인되는 자기파의 두 배보다 적은 자기장
측정 장치의 회전각	± 5%
제어 방법	제작자 사양
방사선 오염 정도	무시
기준점	가장 민감한 중심부

〈표 3〉 G-M 검출기의 플래토우 및 작동 전압

구 분	검출기				
	#1	#2	#3	#4	#5
플래토우 구간	380~780	380~780	400~780	400~760	80~800
작동 전압	507 V	507 V	523 V	513 V	526 V
플래토우 기울기	2.05%	2.77%	2.07%	1.50%	4.87%

〈표 4〉 검출기 카운트당 방사선량 응답치

검출기 번호	항목	측정값 (cpm)	방사선량 응답 (R/h) <sup>1</sup> /s
1		18440 ± 71.75 (± 0.4%)	1.57
2		18607 ± 159.4 (± 0.86%)	1.59
3		18000 ± 172.57 (± 0.96%)	1.54
4		18633 ± 143.81 (± 0.77%)	1.59
5		21614 ± 221.27 (± 1.02%)	1.84

일 경우 GM 검출기가 가장 많이 사용된다.

본 연구에서도 가장 일반적으로 감마선 검출에 효율이 좋은 GM 계수관을 검출기로 선정하였다.

본 연구에서는 상용의 제품(모델명: Berthold 사의 ZP1313)을 구입하여 방사선 경보장치 개발에 활용하였다.

구입한 GM 검출기 제품의 균질성 및 적정 작동 전압을 결정하기 위해 플래토우 및 작동 전압에 대해 측정을 수행하였다. 그 결과를 〈표 3〉에 나타내었다.

한편 표준 장사선장에 각 검출기를 설치하고 1분씩 10회를 반복하여 검출기의 방사선량 응답 결과를 측정하였다. 이 방사선량 응답의 측정 결과는 미국 ANSI N42.17A (1989)의 오차 한계인 15%를 훨씬 하회하는 우수한 결과를 보였다. 이를 〈표 4〉에 나타내었다.

## 2. 방사선 경보 장치의 구성

방사선 경보 장치는 방사선 감지부·스위치 조작부·출력 표시부·CPU 제어 장치부·경보 장치부·전원 장치부 및 시리얼 통신부 등으로 구성되는데 이들 각 부문에 대한 상세한 설명은 〈표 5〉와 같다.

## 3. 장치의 외관 및 주요 사양

장치의 외관을 제작하는 데 있어서 경보 장치의 특성에 맞도록 몇

〈표 5〉 방사선 경보 장치의 구성

명 칭	내 용
방사선 감리부	· G-M Tube : 방사선 검출용 · 프리앰프부 : 검출기에서 나온 미소 신호를 적절한 크기의 전기적 신호로 증폭하는 회로부 · 펄스 변환부 : 프리앰프 출력을 펄스로 변환하여 노이즈 마진을 크게 하고 약 20m까지 신호를 전송할 수 있는 회로부 · 고전압 발생부 : G-M Tube에 직류 고전압을 공급하는 회로
스위치 조작부	방사선 경보 장치를 조작하는 스위치로서 작동 모드 선택 스위치, 시간 설정 스위치, 경보 설정 Thumb-Wheel 스위치, 경보 설정 스위치, 경보 시험 스위치, 교정 스위치, 메모리 소거 스위치, 경보 해제 스위치, 경보 설정 값 확인 스위치 및 최대 선량을 확인 스위치 등으로 구성
출력 표시부	· LED 표시부 : 선량을 표시 · LCD 표시부 : 누적 선량과 시간을 표시 · 작동등 : 시스템이 정상 상태임을 표시하는 작동등으로 1초마다 점등 · 저전압 표시등 : 저전압시 점등
CPU 제어 장치부	본 장치의 심장부로서 CPU · 수정 발진자, 기억 소자, 리얼 타임 클록 및 제어 장치 등으로 구성. 기억 소자로는 시스템 프로그램 저장용 ROM, 데이터 저장용 EEPROM, 임시 데이터 저장용 RAM 등으로 구성
경보 장치부	방사선이 설정된 경보값 이상으로 되면 작업자가 쉽게 인식할 수 있도록 1m 위치에서 95dB 이상의 경보음을 발생하며 열악한 주위 환경에서도 쉽게 인지할 수 있도록 빛도 발생
전원 장치부	3.4V 건전지 4개를 사용하여 13.6V를 공급하고 있으며 이 전원을 변환하여 방사선 검출기용 직류 고전압 및 프리앰프 전원, 디지털 회로 전원 및 경보 장치 전원으로 사용
시리얼 통신부	메모리에 저장된 데이터를 외부 컴퓨터로 전송하는 통신 장치로 9 pin RS-232C를 사용

가지 조건을 만족시켜야 한다. 휴대용으로 무게가 가벼워야 하며 견고성이 고려된 재질의 선택이 중요하다.

또한 시각적인 측면도 고려되어야 하므로 가공성 등이 좋아야 하고 경보 장치에 부착될 경보등 · 부저 · 건전지함 및 전자 회로 기판 등의 지지대(Support)를 본체에 부착하기 위해 용접 등이 용이해야 한다. 이러한 점을 고려하여 최종적으

로 개발된 방사선 경보 장치는 〈사진〉과 같다. 이러한 결과를 바탕으로 최종적으로 결정된 방사선 경보 장치의 기본 사양은 〈표 6〉과 같다.

**방사선 경보 장치의 특성 시험**

개발된 방사선 경보 장치에 대한 한국표준과학연구원에서 방사선량을 의존성, 에너지 의존성 등 방사

선 경보 장치로서 갖추어야 할 항목에 대해 성능 시험을 실시하였다.

이외에도 중성자선 감응 특성, 건전지 수명 평가, 음경보기의 특성 평가 등을 실시하였으며 만족할 만한 성과를 얻었다.<sup>3)</sup>

본 경보 장치 검출기의 방사선량을 의존성 평가를 위해 15 mR/h ~ 25 mR/h 및 40 mR/h ~ 300 mR/h의 저 · 중감마선 표준 방사선장에서 각각 5 mR/h 및 10 mR/h씩 변화시키면서 방사선량을 측정하였다.

또한 Cs-137 선원 130 mCi를 이용한 2 R/h ~ 50 R/h 영역의 고방사선장에서는 5 R/h 증가시켜가면서 방사선량을 측정하였다.

한편 Co-60 700Ci를 이용한 초고방사선장에서는 30 ~ 300R/h 범위에서 방사선량을 측정하였다.

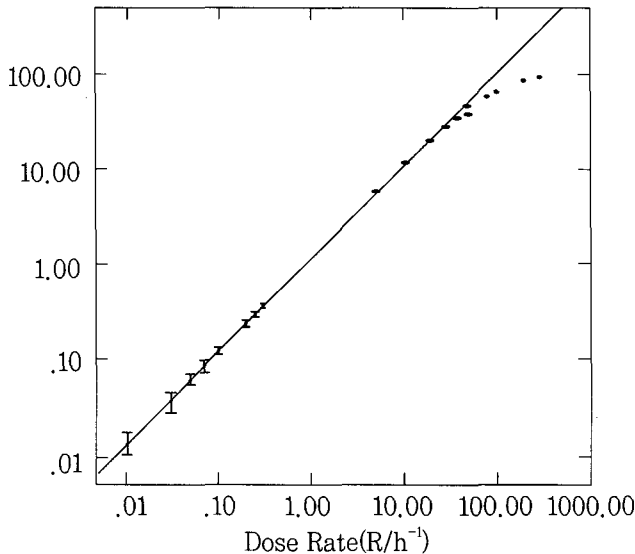
그 결과 저준위 방사선장 (15 mR/h ~ 25 mR/h)에서는 ± 15%, 중준위 방사선장 (40 mR/h ~ 300 mR/h)에서는 ± 4%, 고방사선장 (2 R/h ~ 50 R/h)에서는 ± 0.5% 이내의 불확도를 나타냈다. 이 결과를 〈그림〉에 나타내었다.

에너지 의존성 측면에서는 미국의 ANSI N.42.17A(1989)에서는 80 keV ~ 1.25 MeV 구간의 몇 개 지점에서 선량 반응성이 ± 20%를 넘지 않아야 한다.

한편 일본의 JISZ4324<sup>4)</sup>에서는 80 keV ~ 3 MeV 또는 100 keV

〈표 6〉 방사선 경보 장치의 사양

항 목	사 양
검출기	1. 종류 : 가이거 밀러(Berthold사-ZP1313) 2. 측정 범위 : 10 mR/h~100 R/h
측정 범위 및 오차 정도	10 mR/h~100 R/h, ±10%
전원	건전지(DC 3.4V×4개=13.6V) 규격 : Li/SOC12, 13AH
동작 전압	13.6 ± 4 DCV
경보기	음경보기 : 압전식 부저-음량 95dB at 1m 광경보기 : 단속식 램프-약 3000Lux
데이터 저장 능력	최대 : 약 2시간(1 data/sec) 경보 발생시-경보 전 90분, 후 30분 정상 운전시-최근 데이터 약 120분
소모 전력	경보 동작시 : 410 mA G-M 검출기 : 88 mA 본체 : 94 mA
무게	6.42 kg



〈그림〉 방사선 경보 장치의 방사선 반응 특성

~ 1.5 MeV의 몇 개의 에너지 구간에서 최대 25%를 넘지 않도록 규정하고 있다.

이들 규정을 적용하여 에너지 의존성 특성 시험 결과 약 +16%로 나타나 이들 규정을 만족시키고 있음을 확인하였다. 이를 〈표 7〉에 보였다.

한편 검출기를 수시로 탈착하여 사용하는 휴대용 계측 장비에서는 방향 의존성이 중요하지는 않으나 본 연구에서는 단일 에너지 방사선장에서 20° 간격으로 0~180° 까지 입사 방향을 변환시키면서 측정을 수행하였다.

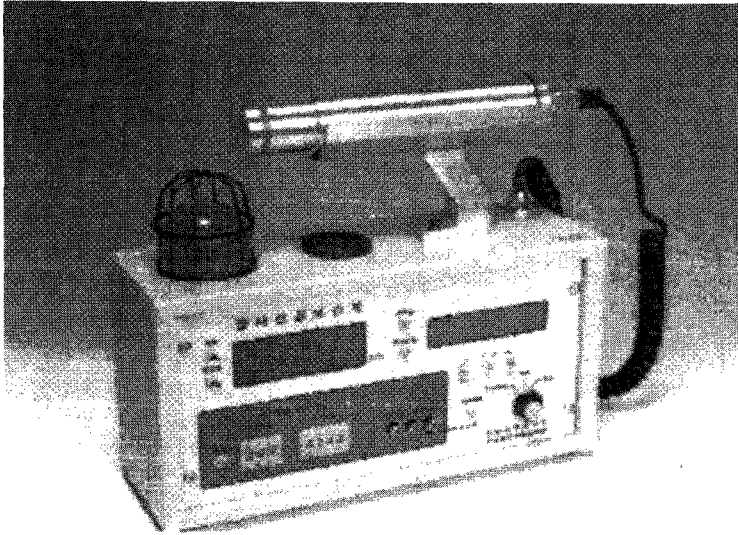
**결론**

우리 나라는 1978년 고리 1호기의 가동 이후 현재까지 16기의 원전을 가동중에 있으며, 2105년까지 총 14기의 원전을 추가로 건설할 계획이다. 이에 따라 방사선 계측기의 사용도 급격히 늘어날 전망이다.

그러나 방사선 계측 장비에 대한 기술력은 매우 낮은 실정이다. 물론 일부에서 수입 대체를 위한 국산화 개발 노력이 없었던 것은 아니나, 지속적인지 못하였거나 핵심 기술 개발에 소홀하여 기술 축적이 되지 않았다.

또한 국산 방사선 계측 기기에 대한 인식 부족과 신뢰성 부족으로 제품 개발 과정중에 중단되었다. 이들

3) KEPRI-94N-J14('96-전력연-단50), 방사선경보장치 개발(최종보고서), 한국전력공사 전력연구원 1996.



개발된 방사선 경보 장치

〈표 7〉 에너지 의존성 특성 시험 결과

에너지	기준 조사 선량률	측정값	오차(백분율)
83 keV	814.73 mR/h	790.54±16.46 mR/h	-3.0%
100 keV	963.30 mR/h	868.81±18.79 mR/h	-9.8%
118 keV	6.818 R/h	6.042±0.052 R/h	-11.4%
164 keV	2.679 R/h	3.015±0.021 R/h	+12.5%
0.66 MeV	200 mR/h	208.13±7.91 mR/h	+4.1%
1.25 MeV	20.00 R/h	23.16±1.41 R/h	+15.8%

각종 방사선 측정 장비는 거의 외국에서 개발 또는 제작된 제품이 대부분으로 국산화를 위한 기술성·경제성 평가와 충분한 연구 개발이 이루어지지 못한 상태에 있었다.

이에 따라 전력연구원에서는 1994년부터 2년간에 걸쳐 원자력 발전소의 다양한 방사선장에서 사용할 수 있는 휴대용 방사선 경보 장치(Radiation Alarm Monitor)를 개발하였다.

이 경보 장치는 휴대용으로 넓은 측정 범위(10mR/hr~100R/hr), 작업중에 변화된 방사선량률의 기억 및 데이터 처리, 교정 기능을 갖는 높은 정밀도(±5%)와 적업자가 소음 지역에서도 쉽게 인지 가능하도록 강력한 경보 기능을 갖추고 있다.

특히 본 장비를 개발하는 데 있어서 GM 검출기를 제외하고는 외국 부품의 구입 및 조립을 배제하고 최대한 국산 부품을 사용하였으며, 기

술 개발에 따른 기술 축적 및 파급 효과를 고려하여 국내 기술진에 의해 독자적인 개발을 시도하였다.

개발된 장비는 한국표준과학원에 보유하고 있는 표준 방사선장을 이용하여 개발 과정중 반복 실험을 통하여 수정 보완하였다.

또한 원전의 환경 조건에서 사용이 용이하도록 현장 적용 시험을 거쳤다. 특히 미국 표준 규격 형식 시험을 통과하여 그 성능을 다시 한번 확인하였다.

개발된 경보 장치를 기존 제품과 비교한 결과 기존의 제품에 비해 성능이 우수하였을 뿐만 아니라, 가격 면에서도 기존 장비에 비해 저렴하여 가격 경쟁력도 충분하다고 판단되었다.

현재 이 장비는 각 원전에 비치하여 고방사선 작업시 휴대하여 방사선작업 종사자의 과피폭 방지 등에 사용중에 있다.

이러한 원전과 같이 복잡한 방사선장을 적절히 측정할 수 있는 복합 기능을 갖는 방사선 경보 장치의 개발로 인하여 수입 대체에 따른 외화 절감 및 선진국으로부터 기술 종속의 탈피 등 많은 효과가 기대되는 기술로 판단된다. 따라서 동 분야에 대한 지속적인 연구와 개발이 필요하다 하겠다. ☞

4) JIS Handbook, 방사선(능), 일본규격협회, Z4324(1980)