

## Development of Portable Memory Type Radiation Alarm Monitor

Jung-Kwon Son, Myung-Chan Lee and Myung-Jae Song  
Korea Electric Power Research Institute  
103-16 Munji-dong Yusung-gu, Taejon 305-380 Korea

### 휴대용 메모리형 방사선 경보장치 개발

손중권 · 이명찬 · 송명재  
한국전력공사 전력연구원

**Abstract** - A Radiation Alarm Monitor has been developed and manufactured in order to protect radiation workers from over-exposure. A visual and audible alarm system has been attached to initiate evacuation when accident occurs such as an unexpected change of radiation level or an over-exposure. The Radiation Alarm Monitor installed with microprocessor can record the information of radiation field change between 90 min. before the alarm and 30 min. after the alarm and also provide the data to an IBM compatible computer to analyze the accidents and to set a counterplan. It features a wide detection range of radiation field(10 mR/h-100 R/h), radiation field data storage, portability, high precision ( $\pm 5\%$ ) due to self-calibration function, and adaption of a powerful alarm system. According to ANSI N42.17A, the most stringent test standards, performance tests were carried out under various conditions of temperature, humidity, vibration, and electromagnetic wave hindrance at Korea Research Institute of Standards & Science (KRISS). As a result, the Radiation Alarm Monitor passed all tests.

*Key words* : Radiation Over-exposure, Microprocessor, ANSI N42.17A, Portability, Self-calibration Function, Light/Sound Alarm, Data Storage

**요약** - 방사선 작업자의 과피폭을 방지하기 위해 방사선 작업 도중 이상 사태가 발생할 경우 광·음경보가 발생한 후 이상 사태 발생전 90분, 발생후 30분간의 방사선량과 방사선량을 변화를 저장하고 외부 PC로 데이터를 전송한 후 사고를 분석하여 차후에 같은 유형의 방사선 사고를 사전에 예방할 수 있도록 고안된 방사선 경보장치를 개발하였다. 이 방사선 경보장치의 특징은 넓은 방사선 측정 범위(10 mR/h ~ 100 R/h), 방사선 준위의 기록 및 기억, PC와의 data처리 기능, 휴대성, 교정 기능에 의한 높은 정밀도( $\pm 5\%$ ), 인지도가 높은 강력한 경보기능 채택 등이다. 개발된 방사선 경보장치의 물리적 환경 적응시험을 가장 엄격한 ANSI N42.17A의 표준 시험조건에 의거하여 온도, 습도, 진동, 전자기파 간섭 등에 관해 한국표준과학연구원에서 수행하였으며 모든 시험항목을 통과하였다.

*중심어* : 방사선 과피폭, 마이크로프로세서, ANSI N42.17A, 휴대용, 메모리형, 광·음경보장치

## 서 론

최근에 방사능에 의한 환경오염에 대한 각종 국내외적 규제가 날로 강화되어 가고 있고, 선진 외국에서는 환경오염이 다른 발전원에 비해 적은 원자력 발전에 대한 중요도가 다시금 높아지고 있으며 국내에서는 원전의 가동 기수가 늘어나고 또한 계속 건설되고 있는 시점에서 방사선 정밀 계측기기 개발의 필요성은 높아지고 있다.

현재 원전에서 사용되고 있는 각종 방사선 측정장비는 방사선 작업조건에 따라 사용할 수 있도록 외국에서 개발된 제품으로서 원전의 방사선장 특성에 따라 많은 종류의 계측기가 사용되고 있지만 국산화 개발이 이루어지지 못한 상태에서 향후 원자력발전소 건설의 계속적인 추진으로 방사선 계측장비의 사용량은 더욱 증가될 전망이다. 따라서 원전의 복잡한 방사선장을 적절히 측정할 수 있는 다양한 기능을 갖는 방사선 계측기의 개발은 국내 원자력산업계의 기술능력을 향상시키고 원자력 선진국으로 진입하는데 필요한 기술중의 하나로써 외화의 절감 및 기술 예측화에서의 탈피 등과 같은 이유 외에도 전문적인 계측기 개발 기반기술 구축 및 인력확보 등 매우 큰 의미가 있을 것이다.

그러므로 전량 외국 수입품인 방사선 경보장치를 국산화하여 수입대체하고 원전작업자의 근무환경을 개선하기 위하여 원전작업자의 과피폭을 방지하고 방사선 작업 현장의 복잡한 방사선장을 적절히 측정할 수 있는 복합기능 계측장비의 개발이 요구되고 있다. 따라서 고방사선 작업시 원자력발전소 작업종사자가 과피폭되는 것을 방지할 수 있도록 경광등과 소음경보가 동시에 작동하고, 예기치 못한 방사선 준위의 변화 등 이상상태 발생시 방사선량율(누적선량) 등 방사선 조건을 컴퓨터 화면이나 프린터로 출력함으로써 원인 분석, 재발 방지 대책수립을 용이하게 하는 마이크로 프로세서 타입의 다기능 휴대용 베타, 감마 방사선 경보장치를 개발하였다.

### 방사선 경보장치의 기본 요건 및 사양

현재까지 국내에는 휴대용 방사선 경보장치의 규격이 명확히 정립되어 있지 않아 외국의 관련 자료를 분석한 결과 미국의 ANSI N42.17A 등

15개의 방사선 계측기 규격 자료[1~15]에서 개발하여야 할 방사선 경보장치의 기본 요건을 다음과 같이 정리하였다.

에너지 측정범위는 X-선이나 감마선의 선량을 측정하는 장비는 최소한 80 keV에서 1.5 MeV의 에너지 구간을 측정 가능하여야 하며 경우에 따라 측정구간은 낮은 에너지는 50 keV이며 높은 에너지는 7 MeV로 설계되어야 한다. 장치를 설계할 때는 장소와 방향에 상관없이 입사하는 방사선장의 방사선량 측정이 가능할 수 있도록 고안되어야 하며 방사선 측정장치는 X-선이나 감마선 이외의 전자기파 등에는 가능한 영향을 받지 않도록 설계되어야 한다. 또한 고중성자 선장에서 사용되는 검출기는 중성자 방사화의 영향을 최소화할 수 있는 물질로 구성되어야 하며 모든 장비는 교정목적에 위하여 검출기 외부에 교정지점을 표시하여야 한다. 제염이 용이하도록 장치를 설계하여야 하며 따라서 기기의 표면은 편편하고 기공이 없어서 쉽게 제염이 될 수 있어야 한다. 상호필스를 잃어버리는 전자부품소자의 고장이나 인가전압의 이상 또는 간섭작용 등이 전자 회로를 자극시켜서 경보장치가 동작되기 때문에 전자 회로를 내장하고 있는 측정장치는 가능한 오동작하지 않도록 설계되어야 하며 인가전압(battery) 상태가 표시되도록 설계하여야 한다.

경보장치의 회로는 reset 스위치를 동작시켜 경보를 정지시키는 형과 경보 지시값 이하에서 자동으로 경보가 정지되는 형의 두 가지 기능이 있으며 모든 경보장치의 동작을 점검할 수 있는 기능이 있어야 한다. 또한 경보장치의 설정값은 부주의에 의하여 바뀔 수 없도록 시건장치 등이 필요하다. 응답시간은 검출기 측정값의 산술적 변화율과의 상호관계로 결정된다. 예를 들어 급격한 방사선 준위의 변화를 빨리 인지하여 작업자가 과피폭될 우려를 없애기 위하여, 높은 방사선량에서는 측정값의 변화율이 적어지기 때문에 응답시간도 짧게 바뀌어져야 하며 실질적으로 측정값의 변화율을 줄여야 한다. 또한 낮은 방사선량에서는 측정값의 변화율과 응답시간의 상호관계를 계산하여 적당한 시간을 결정하여야 하며 방사선 준위가 낮을 경우에는 측정값의 변화율이 크기 때문에 정확한 측정을 위하여 응답시간을 적절히 길게 하는 것이 필요하다.

습기로부터 보호되도록 기기가 설계되어야 한다.

Table 1. 각 원전의 경보장치 사양

발전소명 항 목	울진	고리 1	고리 2	조정결과
1. 표기	국문	영문	국문	국문
2. 계기표시	digital	digital	digital	digital
3. 측정범위	100 R/h	0 ~ 5 R/h	0 ~ 100 R/h	10 mR/h ~ 100 R/h
4. 전원	DC (Dry-Cell)	DC (Dry-Cell)	DC (Dry-Cell)	DC (Dry-Cell)
5. 경보해제방식	수동	일정시간 후 해제	수동	혼합형 또는 수동
6. 경보작동 전후 측정 데이터 보 관 시간	경보 동작시의 전 20분/후 10분	경보 동작시의 전 5분/후 20분		경보 동작시의 전40분/후 20분
7. 경보장치의 위치	부착형	부착형	부착형	부착형
8. 추가기능	o 공기중 방사능 농도 측정장치의 개발	o 점검선원 o 사용설명서 o 표준절차서	o 점검선원 o 검출기의 위치 (내장형 혹은 외장형) o Switch 견고성	o 검출기의 종류 및 부착방법, 방사능세기 등 o 외장형 검출기

전원공급은 교류 및 직류의 두가지 형이 있으며 휴대용일 경우에는 건전지를 사용하는 것이 적합하다. 건전지형은 수명이 최소한 100 시간은 되어야 하며 건전지의 수명 및 작동시의 온도 범위가 명시되어야 한다. 재충전용 건전지의 작동가능시간은 최소 8시간, 최대 16시간 정도가 되어야 하며 이는 새 건전지를 사용했을 때의 측정값을 기준으로  $\pm 10\%$  이내의 오차를 나타내는 시간을 가리킨다. 또한 건전지의 전압상태를 시험할 수 있는 장치나 표시부가 있어야 한다.

경보장치의 상세설계에 들어가기 전에 위의 기본요건을 바탕으로 실질적인 사용자인 원자력 발전소의 담당자 의견을 반영하기 위한 사전조사 연구를 수행을 하여 각 원전의 사양들을 조사하였으며 그 결과는 표 1과 같다.

특히 표 1에서 보는 바와 같이 경보 작동 전후의 데이터 저장은 세계 최초로 개발된 기능으로 방사선량률(누적선량) 등 방사선/능 변화상태를 경보전 1시간30분, 경보후 30분간 메모리에 저장하여 필요에 따라 컴퓨터 화면이나 프린터로 출

력할 수 있어 원인 분석, 재발 방지 대책수립을 용이하게 한다.

### 방사선 경보장치의 설계 및 제작

#### 검출기의 선정

일반적인 방사선 경보장치(AREA MONITOR) 및 광역 검출기(SURVEY METER)는 X-선과 감마선을 검출할 목적으로 사용되며 GM 검출기가 사용된다. 본 경보장치 개발연구에서도 가장 일반적이며 감마선 검출효율이 좋은 GM 검출기를 선정하였으며 검출기의 자체개발은 하지 않고 측정 범위에 적합한 GM 검출기(Berthold, ZP1313)를 구입 사용하였다. 구입된 GM 검출기의 작동 전압을 결정하기 위한 플래투우 측정 및  $^{137}\text{Cs}$  표준 방사선장에서 제품의 균질성 조사를 위한 응답 특성 등에 관한 실험을 수행하였으며 그 결과를 4절에 나타내었다.

**교정함수 설정과 정수계산**

방사선 경보장치의 측정 정확도를 높이기 위하여 교정기능 장치를 설계하였다. GM 검출기의 선량 측정범위가 10 mR/h~100 R/h로 넓기 때문에 GM 검출기의 응답특성 시험결과[16]에 따라 저방사선장에서는 일차곡선으로 고방사선장에서는 이차곡선으로 교정함수를 입력하여 선량율의 측정오차를 ±5% 이내로 조정하였다.

즉, 경보장치를 표준 방사선장에 넣고 기준 선량율에 대한 펄스의 수(=계수율)를 구해 계수율에 따른 선량율 특성곡선을 그림 1과 같이 구한 후 이 특성곡선에 가장 근접한 검량선을 구하였다. 특성곡선의 구간을 2개로 구분하고, 1구간과 2구간이 만나는 점을 경계점(BP=Boundary Point)이라 하였을 때 이를 기준으로 경계점 이하는 1차 방정식, 경계점 이상은 2차방정식으로 표현하였을 때 오차가 ±5% 이내로 가장 적었다.

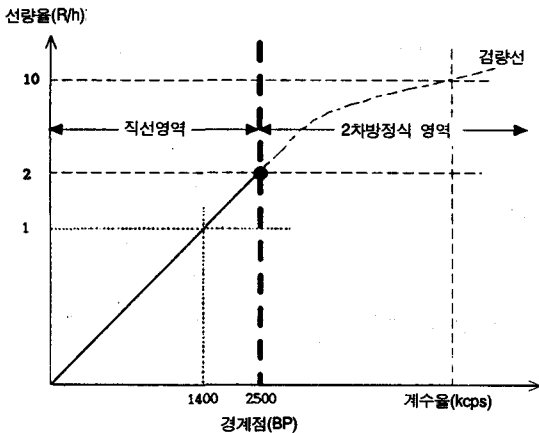


Fig. 1. 교정식에서 1차방정식 영역과 2차방정식 영역

경계점 이하는  $y = a_1x + a_2$ , 경계점 이상은  $y = b_1x^2 + b_2x + b_3$ 으로 표현되며 여기서 y는 선량률값(단위 : R/hr), x는 입력된 펄스의 계수율(단위 : kcps)이며 따라서 교정에 필요한 상수는 BP,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ 들이 된다.

그러나 이와 같은 계산은 수작업으로 최적의 값을 얻는 데는 많은 시간이 소모된다. 따라서 이러한 계산을 소프트웨어적으로 처리하는 SIGMA PLOT PROGRAM을 이용하여 쉽게 경계점과 1

차, 2차방정식의 각각의 정수를 구할 수 있으며 계산된 각 정수의 값은 BP=2,500 cps,  $a_1=0.809$ ,  $a_2=-0.0056$ ,  $b_1=0.0186$ ,  $b_2=0.5286$ ,  $b_3=0.0465$ 이었다.

본 장치에서는 교정에 필요한 정수의 입력을 간단히 하기 위해 교정 스위치를 누른 상태에서 경보용 누적선량 섬유플스위치의 값(=xxx)에 따라 상수의 종류가 선택되어 LCD 표시의 윗줄은 상수 명칭이, 아랫줄은 이미 설정된 상수의 값이 표기된다. 정수값 입력은 경보용 선량률 섬유플스위치를 이용하여 설정하고 설정 스위치를 누르면 입력되도록 하였다.

**중앙연산 제어장치의 전자회로 설계**

중앙연산 제어장치는 경보장치의 성능을 좌우하는 핵심장치로 Microprocessor는 인텔사의 80C51을 사용하여 시스템을 운용하도록 하였으며 메모리부, 디지털 입·출력부, 리얼타임 클락부, 시리얼통신부, 표시부, 구동회로부 및 펄스 계수부 등으로 구성된다. 그림 2는 방사선 경보장치의 중앙연산 제어장치에 대한 구성도를 보여주며 표 2는 각 부분의 주요기능 및 소자를 나타내었다.

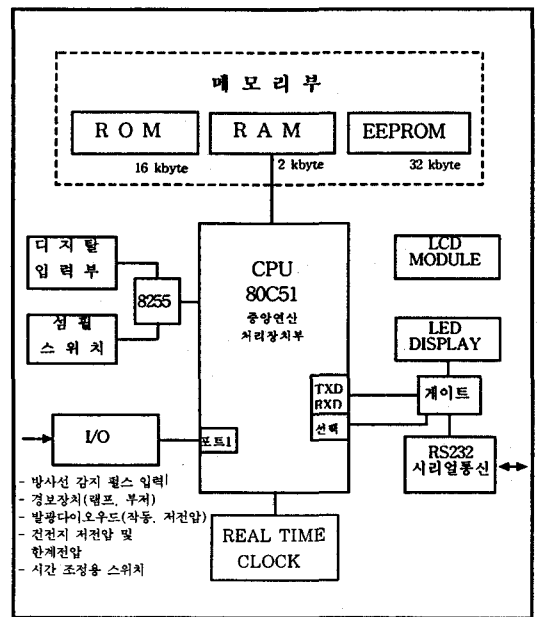


Fig. 2. 중앙연산 제어장치부 구성도

**방사선 감지부 회로설계**

방사선 감지부는 방사선을 검출하는 GM 검출

Table 2. 중앙연산제어장치 각 부분의 기능 및 소자

	기 능	소 자
메모리부	· 임시 데이터 보관 · 시스템 운영프로그램 저장 · 측정 데이터 1초에 한번씩 저장	RAM ROM EEPROM
Microprocessor부	· 시스템 운영프로그램 수행 · 디지털 입출력 제어	8bit CPU
디지털 입출력부	· 디지털 입출력 신호 확장	병렬 입출력 포용 IC
리얼타임 클럭부	· 시간과 날짜, 경보, 100년간의 달력, 프로그램 가능한 인터럽트 처리 기능	리얼타임 클럭용 IC
시리얼 통신부	· 데이터 전송 방향 제어 (LED 표시부 or 외부컴퓨터) · 외부 컴퓨터로 데이터 전송시 데이터 분석 프로그램 기동	RS 232C 9 pin 커넥터
표시부 구동회로부	· CPU로부터 데이터 송신	LED, LCD
펄스계수부	· 방사선에 의해 발생한 펄스수가 CPU에 내장된 카운터에 입력되어 계수되고 리얼타임클럭에 의해 1초마다 읽은 후 선량율로 환산	-

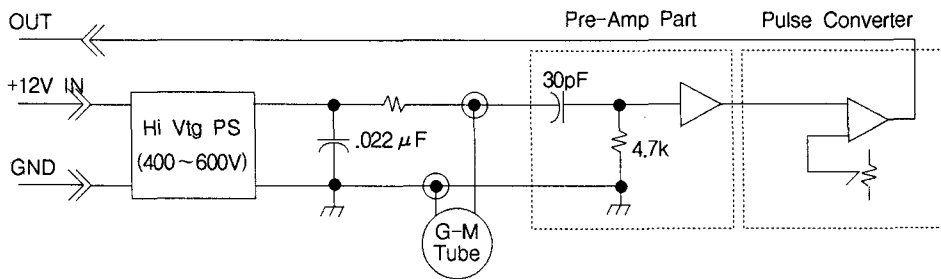


Fig. 3. 방사선 감지부의 구성도

기, 검출기에서 나오는 미소 신호를 적절한 크기의 전기적 신호로 증폭하는 전치증폭기, 전치증폭기의 신호를 펄스로 변환하여 잡음에 대한 오동작을 방지하고 20m까지 신호를 전송할 수 있는 펄스변환부 및 GM 검출기에 직류 고전압을 인가해주는 직류 고전압 발생부로 구성되며 본 장비의 성능을 결정하는 매우 중요한 부분이 된다.

또한 상기 각 부를 검출기 외함 내에 전부 설

치해야 하므로 전치증폭기, 펄스변환기 및 직류 고전압 발생부를 한 개의 전자회로 기판에 조립하였으며 검출기도 이 기판에 직접 연결하여 설치함으로써 감지부를 스테인레스 외함내에 전부 설치하여 사용하기가 편리하게 하였고 본체와 감지부가 약 20m까지 케이블로 연결하여 사용할 수도 있게 하였다. 감지부의 개략적 구성도는 그림 3과 같다.

### 전치증폭기의 설계

전치증폭기는 GM 검출기의 case 내부에 고전압 공급장치와 함께 내장되도록 설계하였다. 전치증폭기의 회로는 transistor형과 OP-Amp.형, Dual N-MOS FET형이 있으며 세가지의 회로를 구성 제작하여 펄스특성을 측정하여 보았다. 측정 결과 transistor 형의 전치증폭기에서는 펄스폭이 크고 잡음이 발생함을, 또한 OP-Amp.형 전치증폭기는 너무 큰 잡음이 발생함을 pulse spectrum에서 알 수 있었다. 그러나 Dual N-MOS FET형의 전치증폭기 회로에서는 안정된 펄스가 발생되어 이 회로를 선택하였다.

### 펄스변환부

펄스변환기는 GM 검출기의 특성에 따라 회로의 구성이 달라야 하므로 직접 설계하여 제작하였다. 방사선에 의해 GM 검출기에서 발생된 전류를 펄스로 바꾸기 위해 설계된 회로는 그림 3과 같다. 양극은 양(+)의 전위차를 갖고 있으며 저장한 GM 검출기 내에서 방전에 따른 전자수집에 앞서 양극으로부터 전압을 단절시키도록 설계하였다.

이런 음을 발한다.

플래시 램프는 주위 환경이 열악한 곳에서도라도 작업자가 쉽게 경보가 발생했다는 것을 인식할 수 있도록 고광도의 단속램프를 사용하였으며, 램프의 점등간격은 약 1초로 설정하였다.

그림 4는 위의 설계를 바탕으로 제작한 방사선 경보장치의 전면 패널이다

## 방사선 경보장치의 성능시험

제작 완료된 방사선 경보장치가 현장에서 사용 가능함을 입증하기 위해 경보장치의 제작에 사용된 GM 검출기에 대해 작동 전압을 결정하기 위한 플래투우 측정 및 <sup>137</sup>Cs 표준 방사선장에서 제품의 균질성 조사를 위한 응답 특성 실험을 수행하였으며, 완성된 방사선 경보장치의 에너지 의존성 및 방향 의존성 시험과 증성자에 대한 반응을 조사하였다. 방사선 경보장치의 물리적 환경 적용 시험 역시 ANSI N42.17A에 의거 수행하였으며 물리적 환경 적용 시험의 결과는 ANSI N42.17A의 허용범위 내에 들었다.[16]

### 작동전압 결정

GM 검출기에 인가하는 전압을 정확히 측정하는 것은 매우 중요하다. 작동전압은 GM 검출기의 크기와 수집 전극의 반경, 계수가스의 압력 등에 따라 매우 민감하게 작용, 사용 결과에 따라 변하므로 주기적으로 교정하여 사용하여야 한다.

작동전압은 플래투우 그래프를 그리고 위의 식을 이용하여 작동전압 V를 결정한다.

$$V = V_1 + \frac{1}{3}(V_2 - V_1)$$

플래투우의 기울기는

$$S = \left[ \frac{(R_2 - R_1)}{R_1} \right] \left[ \frac{100}{(V_2 - V_1)} \right] \%$$

로 구하여지며 경보장치 제작에 사용된 5개의 GM 검출기에 대한 G # 1 ~ G # 5 검출기의 측정결과는 표 3에서와 같이 나타났다.

### GM 검출기의 응답치 균질성

GM 검출기의 균질성 확보 및 인증을 위한 실험을 130 mCi급의 <sup>137</sup>Cs 조사장치를 사용하여 수

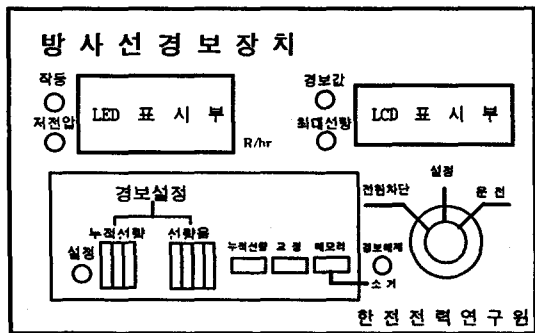


Fig. 4. 방사선 경보장치의 전면 패널 배치도

### 경보장치 설계

경보장치로서는 경보음을 발생하는 압전식의 부저와 경보용 빛을 단속적으로 발생하는 플래시 램프를 사용하고 있다

압전식 부저는 세라믹 발진자를 음원으로 사용한 고음압 레벨을 갖는 부저로서 내온내식성이 강하며 1 m에서의 음압이 105dBA/12VDC인 사

Table 3. 검출기의 작동전압 및 기울기

구 분	G # 1	G # 2	G # 3	G # 4	G # 5
플래토우	780~1160 (380 V)	800~1120 (320V)	800~1170 (370 V)	800~1140 (340 V)	780~1220 (440 V)
작동전압	507 V	507 V	523 V	513 V	526 V
기 울 기	2.05 %	2.77 %	2.07 %	1.50 %	4.87 %

Table 4. 검출기 카운트당 방사선량 응답치

	측정값 (cpm)	방사선량 응답 ((R/h) <sup>-1</sup> /s)
G # 1	18448±71.75 (±0.4%)	1.57
G # 2	18607±159.4 (±0.86%)	1.59
G # 3	18000±172.57 (±0.96%)	1.54
G # 4	18633±143.81 (±0.77%)	1.59
G # 5	21614±221.27 (±1.02%)	1.84

행하였다.

다음 표 4는 표준방사선장(200 mR/h)에 각 검출기를 설치하고 60 초씩 10번 반복 측정하여 그 평균값을 산출한 것이며 각 검출기의 변동계수, 표준편차를 평균값으로 나눈 백분율도 기록하였다. 시험결과 ANSI N42.17A 및 JIS Z4234의 오차조건인 15%에 포함되는 결과를 나타내고 있으며 5개 GM 검출기의 방사선량 응답치가 측정된 플래토우의 인가전압에서 거의 같은 값으로 측정됨으로서 품질이 양호함을 알 수 있었다.

### 방사선 경보장치의 에너지 의존성

방사선 경보장치의 에너지 의존성의 시험방법에는 미국의 ANSI N42.17A에 의하면 80 keV ~ 1.25 MeV의 구간에서 몇 지점의 선량반응성이 ±20%가 넘지않아야 하며, 일본규격협회의 JIS Z4324에서는 80 keV ~ 3 MeV 또는 100 keV ~ 1.5 MeV의 에너지 구간중 80 keV, 100 keV,

150 keV, 0.66 MeV(<sup>137</sup>Cs), 1.25 MeV(<sup>60</sup>Co)에서 선량측정을 수행하고 <sup>60</sup>Co 측정값을 기준으로 오차를 백분율로 환산하여 ±25% 이내로 판단한다. 일본 JIS의 시험방법에 따라, 개발된 방사선 경보장치를 X-선 발생장치(Philips, MG-325)에서의 4개 에너지 및 <sup>137</sup>Cs 및 <sup>60</sup>Co 선원에서 측정하였으며 표 5에 시험 결과를 나타내었다. 이 시험은 X-선 발생장치에서 구비된 필터의 조건에 의해 위의 JIS시험방법에 가장 가까운 에너지중 네개의 X-선을 조사하여 각각 20회씩 측정하고 평균값과 표준편차를 산정하였으며 기준선량과의 차이를 백분율로 표시하였다. 0.66 MeV의 <sup>137</sup>Cs와 1.25 MeV의 <sup>60</sup>Co의 조사선량도 같은 방법으로 환산하여 표기하였다.

### 방사선 경보장치의 방향 의존성

측정장치의 방향의존성은 검출기가 내삽형 또는 고정형인 경우에 중요한 의미를 갖지만 이 과

Table 5. 에너지 의존특성

에너지	기준 조사선량률	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%

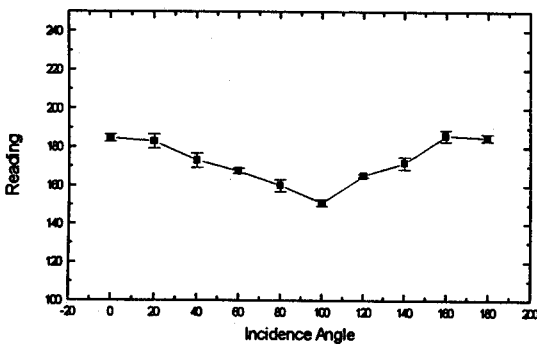


Fig. 5. GM 검출기의 방향 의존성

제에서 개발된 방사선 경보장치는 검출기가 탈착식으로 이동이 가능하므로 중요성은 덜하다. 그러나 GM tube의 방향의존성 조사를 위한 실험을 수행하였으며 이 측정을 위하여 각도변환기를 도입하여 20° 간격으로 단일 방사선장에서 10회 측정하였다. 그 결과는 그림 5에 나타내었다

### 중성자 감응특성 조사

제작된 경보장치는 GM 검출기를 센서로 사용하고 있어서 일반적으로는 중성자에 대한 감응도가 거의 없다. GM 검출기의 제작사양에서도 중성자에 대한 감응도는 무시할 수 있다(negligible)고 명기하고 있지만 실질적으로 중성자 선원에서 방출되는 중성자 및 감마선장에서 측정하여 보았

다. 중성자 선원으로는  $^{252}\text{Cf}$ 와  $^{241}\text{Am-Be}$  선원을 동시에 조사시켜 중성자의 방출율을 높였으며 감마선의 에너지도 되도록 넓은 구간에서 측정되도록 하였다. 실험장치는 개발된 방사선 경보장치와 중성자 선량당량계(neutron rem counter)를 동시에 동축선상에 설치하고 10 cm 떨어진 위치에  $^{252}\text{Cf}$ 와  $^{241}\text{Am-Be}$  선원을 같이 노출시켜 중성자 및 감마선을 조사시켰다. 이때의  $^{252}\text{Cf}$  선원의 중성자에서 10 cm 떨어진 거리에서의 중성자 플루언스율(flux rate)은  $6.96 \times 10^6 \text{ h}^{-1}\text{cm}^{-2}$  이고 감마 조사선량률은 16.9 mR/h이다.  $^{241}\text{Am-Be}$  중성자 선원의 10 cm 떨어진 거리에서의 중성자 플루언스율은  $6.70 \times 10^5 \text{ h}^{-1}\text{cm}^{-2}$ 이며 감마 조사선량률은 24.41 mR/h이다. 이 두선원의 강도 및 감마 조사선량률을 합하면 중성자는 시간당  $7.63 \times 10^6$  개가 조사된다(중성자 에너지는 0 ~ 14 MeV). 또한 감마 조사선량률은 합하면 41.31 mR/h이 되며  $^{252}\text{Cf}$ 의  $\gamma$ -ray 에너지는 80 % 이상이 1 MeV 이하의 에너지를 갖고 있으며  $^{241}\text{Am-Be}$ 의  $\gamma$ -ray 에너지는 4.43 MeV의 단일에너지를 방출한다. 그러나 실질적인 측정실험에서는 방사선 경보장치의 감마선 측정선량률값은  $26 \pm 0.2 \text{ mR/h}$ 을 나타내고 있었으며 누적선량은 1 시간 측정결과 24 mR을 나타내었다. 방사선 경보장치에 사용된 GM 계측기의 측정가능한 에너지 범위는 0.555 ~ 3 MeV로서  $^{241}\text{Am-Be}$ 에 의한  $\gamma$ -ray 기여분이 거의 측정되지 않아 약 60%에 해당하는 24 mR이 측정되었다. 중성자는 1 시간 누적선량으로



28.95  $\mu\text{Sv}$ 를 보여주고 있으며 이는 환산인자[17]를 사용하여 계산한 값인 28  $\mu\text{Sv}$ 와 잘 일치한다. 두께 5 cm  $\times$  가로 20 cm  $\times$  세로 10 cm 크기의 납벽들을 검출기와 중성자선원 사이에 놓아 차폐시키면 1 시간의 측정결과  $\gamma$ -ray 는 0으로 완전히 검출되지 않았으며 중성자는 21.14  $\mu\text{Sv}$ 를 나타내었다. 따라서 중성자의 감응도는 무시하여도 된다.

## 토의 및 결론

방사선 경보장치의 개발을 위하여 국내외의 방사선 계측기(Area Monitor)의 사양에 대한 규격 및 요건을 조사하였다. 국내에는 아직까지 규격이 정하여진 바 없으며 외국의 자료를 분석하고 기본사양 및 요건을 정리하고 사용자인 각 원전의 담당자의 의견을 수렴하여 개념설계 및 기본사양을 결정하였다. 또한 상세설계에 앞서 원전내의 환경을 조사하고 각 부품의 사양을 결정하는데 참고하였다.

검출기는 제작의 안전성 및 취급, 경제성 등을 고려하여 GM 검출기로 결정하고 구입하였으며 특성조사를 위한 계수장치를 제작하고 플래토우 측정 및 작동전압의 결정, 응답특성, 품질의 균질성을 파악하였다.

상세설계를 도안하여 회로를 구성하고 제작하였으며 제작된 각 부품을 교환 및 개수가 용이한 회로기판에 조립하여 성능시험 및 품질시험을 수행하였다. 각 부품은 가능한 국산제품으로 선정하여 국산화율을 높이도록 하였으며 검출기 부분은 Berthold社의 GM 검출기를 구입하여 사용하였고 고전압공급장치 및 전치증폭기를 자체 개발하여 부착하였다. 개발된 방사선 경보장치는 선량측정 범위(10 mR/h~100 R/h)에서 오차가  $\pm 5\%$ 이내의 정밀도를 갖도록 교정함수를 입력하였다. 또한 검출기에 직접 고전압공급장치 및 전치증폭기를 부착함으로써 거의 20여m의 거리에서도 안정된 펄스가 전송되도록 고안하였다.

자료조사에 의한 성능 특성 및 물리적 환경 적응시험은 가장 엄격한 미국의 ANSI N42.17A의 규격에 의하여 한국표준과학연구원의 각 실험실에서 온도, 습도, 진동, 전자파 장애시험을 수행하였으며 규정조건에서 이상없이 통과되었다.

개발된 방사선 경보장치의 특징은 넓은 선량 측정범위(10 mR/h~100 R/h), 방사선 작업 이력의

기억 및 PC와의 data처리 기능, 휴대성, 교정기능에 의한 높은 정밀도( $\pm 5\%$ ), 인지도가 높은 강력한 경보기 채택 등이 있다. 따라서 아무리 열악한 작업환경에도 방사선 경보장치를 휴대할 수 있으며, 작업도중 이상상태 발생시 사고전 90분 사고 후 30분간의 데이터를 안전한 위치에 온 후 PC에 연결하여 처리할 수 있다. 방사선 경보장치를 개발함에 있어 최대한 국산부품을 쓰고자 노력하였으며 방사선 계측기 국산화 개발의 기술축적이 원자력산업으로 확산될 파급효과를 고려하여 되도록 독창적인 개발을 시도하였다. 그러므로 방사선 경보장치는 조사된 기존의 상용 Area Monitor보다 많은 복합기능의 성능을 가질 뿐만 아니라 가격경쟁력도 있어 실질적인 기대효과가 충분하리라 사료된다. 앞으로 축적된 기술을 기반으로 방사선 계측장비의 계속적인 개발이 추진되고 방사선 계측기기 산업의 선도적인 역할이 기대된다.

## 참고 문헌

1. "Radiation Protection Management," The Journal of Applied Health Physics, RSA Publication, Hebron(1989)
2. "Radiological Emergency Response Planning," Stone & Webster Engineering Corporation (1987)
3. "Performance Specifications for Health Physics Instrumentation - Portable Instrumentation for Use in Extreme Environmental Conditions," American National Standards Institute, ANSI N42.17C, New York(1989).
4. "Performance Specifications for Health Physics Instrumentation - Portable Instrumentation for Use in Normal Environmental Conditions," ANSI N42.17A, New York(1989).
5. "Practice for Occupational Radiation Exposure Records Systems," ANSI N13.6, New York (1966, R1972).
6. "American National Standard - Location and Design Criteria for Area Radiation Monitoring Systems for Light Water Nuclear Reactors," ANSI/ANS-HPSSC-1.8.1(1981).
7. "Performance Specifications for Reactor Emergency

- Radiological Monitoring Instrumentation*," New York, ANSI N320 (1979).
8. "Performance Specifications for Direct Reading and Indirect Reading Pocket Dosimeters for X-and Gamma Radiation," ANSI N13.5, New York (1972).
  9. "Performance Requirements for Pocket-sized Alarm Dosimeters and Alarm Ratemeters," ANSI N13.27, New York (1981).
  10. "Radiation Protection Instrumentation Test and Calibration," ANSI N323, New York(1978)
  11. "Equipment for Monitoring the Radioactivity of Air within Nuclear Power Plants During and Following Accident," International Electrotechnical commission, IEC 45A-135(1993).
  12. "Radiation Detectors for the Instrumentation and Protection of Nuclear Reactors : Characteristics and Test Methods," British Standards Institution, BS 5548 (1978).
  13. "Radiation Protection Instrumentation - Installed Dose Ratemeters, Warning Assemblies And Monitors - X and Gamma Radiation of Energy between 50 keV and 7 MeV," IEC 532 (1978).
  14. "Environmental Radiation Monitor Operator's Reference Manual," Rotem Industries LTD., Israel (1988).
  15. "JIS Handbook, 放射線(能)" 日本規格協會, Z4324 (1980)
  16. 송명재 외, "방사선 경보장치 개발," 한국전력공사 전력연구원, 96-전력연단50 (1996).
  17. B.R.L. Siebert and H. Svuhmacher, "Quality Factors, Ambient and Personal Dose Equivalent For Neutrons, Based on the New ICRU Stopping Power Data for Protons and Alpha Particles," Radia. Prot. Dosim., Vol. 58, No. 3, 177-183, Nuclear Technology Publishing(1995).