

放射線管理用 모니터의 특성과 응용

— 原子爐 施設 · 高放射能 取扱施設에서 —

1. γ 線 에어리어모니터

1.1 種類와 特性

原子爐 施設, 高放射能 取扱施設, 大型 照射 施設 등에서는 관리 구역내 혹은 시설 주변의 空間線量率을 연속 감시하기 위해 γ 線 에어리어 모니터를 설치한다. 이들 모니터는 電離箱式, GM計數管式 및 신틸레이션式으로 나누어지며 설치장소에 따라서 분류하면 作業 環境用과 野外 環境用으로 나누어진다.

작업 환경의 에어리어모니터는 작업 환경의 照射線量率을 파악함과 함께 선량율이 어느 레벨을 넘으면 경보를 발하여 방사선 관리상 조치를 행하기 위해 설치된다. 따라서, 선량율의 큰 변동에 대해서 정확한 응답을 얻을 수 있도록 지시는 일반적으로 對數로서 눈금지워진다. 이에 비해 야외 환경용 모니터는 自然放射線量率과 시설로부터의 방사선의 영향을 높은 精度로서 평가하려는 경향이 있으며 시설내용과는 다른 시스템으로 되어 있다. 야외 환경용은 일반적으로 직선 눈금 또는 디지털로 표시된다.

未臨界極限值 이상의 핵연료 물질을 취급하는 시설에서는 臨界事故를 확실하게 감지하고 작업자를 긴급 대피시켜 과잉피폭을 방지하기 위해 臨界모니터가 사용된다. 이들도 일종의 에어리어 모니터다.

γ 線 에어리어모니터에 관련하는 JIS 및 IEC

(International Electrotechnical Commission) 規格에는 다음과 같은 것이 있다.

- JIS Z 4324-1980 X線 및 γ 線用 area monitor
- Z 4325-1983 環境 γ 線連續 monitor
- Z 4326-1983 環境 γ 線連續 monitor의 校正 方法

IEC Publication 532 : Installed exposure rate meters, warning assemblies and monitors for X and gamma radiation of energy between 80 keV and 3MeV

1.1.1 電離箱式 γ 線 에어리어모니터

γ 線 에어리어모니터에 사용하는 電離函은 원통형이고 용적은 0.5L ~ 數L 정도의 것이 많은데 야외 환경용에는 球形의 것도 사용되고 있다.

照射線量率을 \dot{X} (R/h)로 하고 容積 V (cm³)의 전리함에 표준 상태의 공기가 밀폐되어 있을 때 공기의 질량은 $1.293 \times 10^{-6} V$ (kg), 1R에 대한 空氣 1kg當 電荷는 $2.58 \times 10^{-4} \text{Ckg}^{-1}/\text{R}$ 이므로 電離電流 i 는 다음의 식으로 표시된다.

$$i = 9.27 \times 10^{-14} \frac{V \dot{X}}{((\mu_{en}/\rho)_{air} / (\mu_{en}/\rho)_z)_m \bar{S}_z e^{u_z}} \quad (A) \quad \dots \dots \dots (1)$$

여기서 $(\mu_{en}/\rho)_{air} / (\mu_{en}/\rho)_z$ 는 X, γ 線에 대한 공기와 壁物質의 질량에너지 흡수계수의 比, $m \bar{S}_z$ 이 壁物質의 공기에 대한 平均質量阻止能比, e^{u_z} 는 壁物質에 의한 入射放射線의 減衰를 보정

하는 項이다.

壁物質에 페놀樹脂 등과 같이 공기와 원자조성이 같은 재료를 사용한 전리함에서는 式(1)의 분모인 3 개항은 실질적으로 1 로서 일정하다고 볼 수 있으므로 에너지특성은 일반적으로 매우 양호하다. 壁物質에 페놀 수지 등을 사용하여 25 keV-3MeV의 에너지범위, 數 μ R/h-100mR/h 정도의 照射線量率을 數%의 精度로 측정할 수 있는 것이 시판되고 있으며, 주로 정밀한 基準測定用으로 사용되고 있다. 이에 비해 관리 구역내의 선량을 상황을 파악하는 것을 주된 목적으로 사용되는 장치는 에너지依存性 등의 특성이 다소 희생되더라도 연속 사용에 견디고 안정된 성능을 얻을 수 있도록 고려되어 있다.

電離電流의 增幅率을 억제하여 幅增回路의 안정화를 도모하기 위해 전리함을 感度를 크게 할 필요가 있다. 그 방법으로

- ① 電離箱의 용적을 크게 할 것
- ② 電離氣體를 加壓할 것
- ③ 電離氣體에 argon, krypton 등 공기에 비해 \bar{W} 가 작은 기체를 사용할 것

등이 있다. 式(1)에서도 알 수 있는 바와 같이 어떤 電離氣體에 대해 전리전류는 그 질량에 비례하므로 密閉型의 電離函에서는 전리기체의 압력에 비례한다.

加壓하는 경우에는 알루미늄 등 압력에 견디는 壁物質을 사용하게 되며, 이때는 式(1)의 분모를 1로 볼 수는 없다. 또한 분모의 3 개항은 에너지의존성을 가지고 있으므로 持示置가 에너지 의존성을 가지게 된다. 또 壁物質에 의한 減衰로 인해 특히 낮은 에너지 영역의 특성이 나빠진다.

야외 환경의 空間線量率을 측정하기 위한 모니터에 아르곤가스를 加壓封入한 大容積電離函을 사용한 것이 있다. 공기의 \bar{W} 가 33.7eV인데 아르곤은 26.4eV이며 공기의 경우보다 큰 電離電流가 얻어진다. 검출기의 용적은 10L 前後

의 것이 사용되고 있다. 14L의 有效容積에 8기압의 아르곤가스를 봉입한 전리함의 에너지특성을 그림 1에 표시했다.

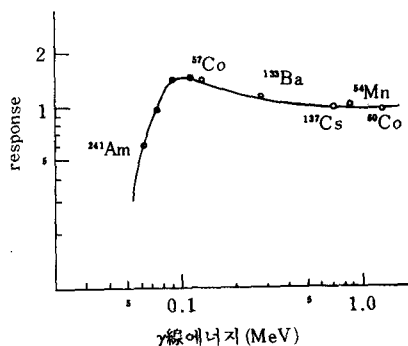
부지 주변의 γ 線 에어리어모니터는 NaI(Tl) 신틸레이션식이 많이 사용되고 있는데, 數2mR/h-10R/h의 높은 線量率範圍에 대해서는 電離函式 모니터를 병행해서 대응하고 있는 경우가 많다. 또 격납용기내의 10⁷R/h에 대응할 수 있는 검출기로서 실리콘固體電離函이 있다. 이것은 np型실리콘 太陽電池에 銅을 半流動液으로 해 耐放射線性을 가지게 한 것인데 照射線量에 대한 劣化率은 10⁶R當 0.1% 정도라 한다.

1.1.2 GM 計數管式 γ 線 에어리어모니터

검출기로서 소형의 橫窓形 GM計數管을 알루미늄 등의 케이스에 넣어 전치증폭기와 함께 관리 구역내의 壁面 등에 고정시켜 사용한다.

GM計數管은 전리함에 비해 에너지 특성은 좋지 못하나 pulse電流가 크므로 비교적 간단한 計數回路로 모니터를 구성할 수 있다. 따라서 경제적이고 유지 관리도 쉬우므로 전리함과 함께 관리 구역내의 모니터로서 넓게 사용되고 있다. 이때 측정범위는 0.01-100mR/h 또는 0.1-1000 mR/h의 것이 에어리어모니터로서 일반적으로 사용되고 있다. 에너지범위는 낮은 에너지측은 GM프로브의 재질 및 두께로서 정해지는 60-100keV 程度이며 높은 에너지측은 3MeV 程度

〈그림 1〉 아르곤大容積加壓式 電離函의 에너지특성



까지를 대상으로 하고 있다.

GM計數管은 높은計數率로 점차 펄스波高가 적어져서 連續放電狀態가 되어 계수하지 못하게 된다. 소위 말하는 不感現象이 일어난다. 이와같은 상태가 되었을 때는 선량율이 높음에도 불구하고 경보가 발하지 않거나 또는 경보는 발하더라도 지시가 낮게 되어있기 때문에 방사선 관리상의 대응을 잘못할 위험이 있다. 따라서 전자회로에서 이와같은 상태를 검지하여 확실하게 경보를 발하게 하고 지침은 高線量率側의 눈금범위밖을 지시하고 있는 것이 바람직하다.

1.1.3 신틸레이션식 에어리어모니터

신틸레이션검출기는 감도가 좋아서 주로 시설 주변환경의 γ 線量率測定에 사용되고 있다. 신틸레이터는 NaI(Tl)가 사용되고 있는데 에너지의존성이 크므로 계수장치의 전자회로나 신틸레이터에 특수한 차폐를 함으로서 에너지특성의 平坦化를 도모하는 방법이 취해지고 있다.

NaI檢出器로 γ 線을 측정할 때 單位線量率當計數率은 그림 2에서와 같이 入射 γ 線의 에너지에 의존해서 크게 변화한다. 이 出力信號를 전자회로에서 처리하여 에너지특성을 개선하는 방식의 하나로 DBM(discrimination bias modulation) 방식이 있다.

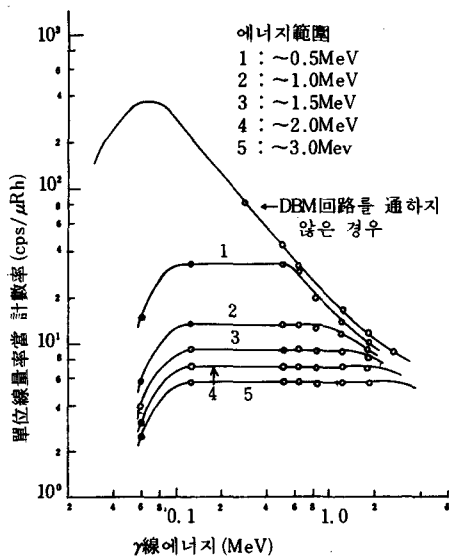
DBM方式은 검출기의 크기, 형상 등에 따라서 정해지는 波形으로 波高判別레벨을 變調한計數值에 대해 波高值마다 계수하여 照射線量率에 비례하는 계수율을 얻는 방식이다. DBM方式의 回路構成을 그림 2에, 또 이 방식에 의해서 개량된 NaI(Tl)신틸레이션카운터의 에너지특성

보기를 그림 3에 나타내었다.

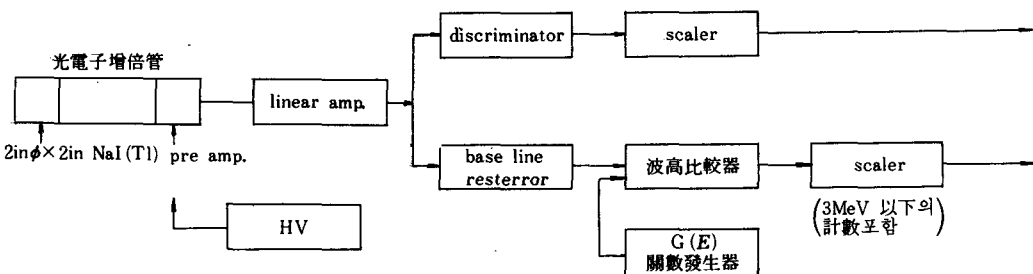
검출기로부터의 신호는 리니어앰프로 增幅하고 波高比較器에 연결하여 스케일러에서 판독한다. 이 계수치를 데이터傳送裝置를 통해 일정 시간마다 중앙처리장치에 전송되어 계산에 의해서 照射線量率로 한다. 한편 그림 2에서와 같이 리니어앰프의 출력을 디스크리미네이터를 통해 계수한 결과를 중앙처리장치에 전송한다. 이렇게하여 자연방사선의 변동을 파악하고 施設寄與分을 평가하는 데이터를 얻을 수 있다.

자연방사선의 변동요인은 대기중의 Rn(^{222}Rn), Tn(^{220}Rn) 濃度の 변동, 비에 의한 Rn, Tn 딸 핵종의 地表로의 축적 등에 의한다. 이들중 변동

〈그림 3〉 DBM方式에 의한 NaI(Tl)신틸레이션식 線量率計의 에너지特性($2\text{in}\phi \times 2\text{in}$ NaI(Tl))



〈그림 2〉 DBM方式의 回路構成 다이어그램



에 크게 기여하는 핵종은 RaC(^{214}Bi)이다. RaC는 0.609-2.44MeV의 γ 선을 방출하며 특히, 1.73MeV 이상의 γ 선 기여가 크다. 이점에 착안하여 그림 3의 디스크 리미네이션 레벨을 1.6M eV 近邊에 설정해서 자연방사선의 변동을 파악하고 원자로 평상시 미량의 방사성希가스放出에 의한 照射線量率寄與의 판정에 이용한다. DB-M方式에 의한 측정범위는 약 0.5 $\mu\text{R/h}$ -5mR/h이다.

앞에서와 같이 부지주변에 설치하는 γ 선 에어리어모니터의 測定上限値는 10R/h로 하고 있으며, 이에 대한 대응으로서 NaI檢出器와 전리함을 사용하는 2檢出器方式이 널리 채용되고 있는데, 이 선량율범위를 하나의 NaI檢出器에 의해서 측정하는 방법이 개발되어 실용화되고 있다. 이 장치는 1 $\mu\text{R/h}$ ~5mR/h의 低線量率域은 DB M方式에 의해, 5mR/h~10R/h의 高線量率域에서는 光電子倍增管的 陽極電流를 측정하는 방식이다. 이 장치의 에너지특성은 60keV~1.25MeV의 범위에서 $\pm 15\%$ 이내, 선량율특성은 低線量率域에서 $\pm 4\%$ 以內, 高線量率域에서 $\pm 10\%$ 이내의 直線性이 얻어지고 있다.

1.2 使用法 및 使用上 注意

(1) 作業環境에서의 γ 선 에어리어모니터의 검출기의 설치장소는 다음과 같은 점을 고려해서 정한다.

- ① 사람이 상시 출입하는 장소로 線量率이 높아질 우려가 있는 곳.
- ② 常時線量率이 높은데다가 변동하는 곳으로 점검 등 작업자가 출입하는 곳.
- ③ 시설의 遮蔽條件의 변화 등에 의해서 高線量率이 될 우려가 있는 곳.
- ④ 선량율의 측정이 곤란하며 遠隔으로 감시하는 편이 관리하기 쉬우며 일상의 방사선 관리에 省力化가 도모될 수 있는 곳.
- ⑤ 원자로 등 시설의 이상이 조기에 발견할 수 있는 곳.

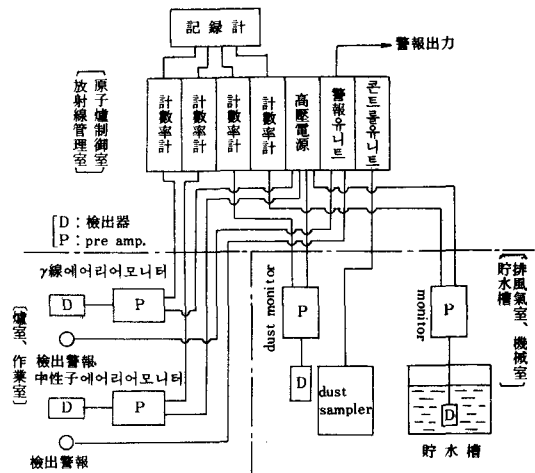
(2) 原力爐, 高放射能取扱施設 등 비교적 큰 시설에서는 관리구역내의 필요한 곳에 설치된 에어리어모니터의 검출기로부터 신호를 더스트 모니터, 워터모니터 등 각종 모니터류의 신호와 함께 放射線管理室, 制御室에 설치된 中央監視盤에 모아 집중 감시한다. 원자로의 모니터 구성의 한 예를 그림 4에 표시한다.

방사선모니터의 指示値는 記錄計에 기록한다. 기록계는 펜기록계 또는 검출기의 수가 많을 때는 검출기수에 따라 自動 平衡形打點記錄計가 사용된다. 打點記錄計는 보통 타점간격을 5초로 하고 있으므로 하나의 양에 대해서는 6打點式에서 30秒, 12打點式에서는 1분간격이 된다. 지시치의 시간적 변화의 상황을 상세히 기록할 필요가 있을 때는 펜기록계를 사용해야 할 것이다.

(3) 모니터는 1 또는 2레벨의 警報機能을 비치하고 있다. 또한 고장에 의한 지시치의 이상 저하를 검지해서 고장경보를 발하는 성능을 가지게 한 경우도 있다.

警報設定値에 대해서는 ICRP가 발간한 國際放射線防護委員會 勸告에서 제시된 放射線管理基準의 하나인 調査레벨(investigation levels)가 있다. 경보설정치는 이상상태의 확실한 檢知라

〈그림 4〉 放射線모니터構成의 一例



는 관점에서 시설의 정상운전시 방사선레벨의 상태를 충분히 파악한다음 적절한 값을 선택해야 할 것이다.

警報設定値의 하나의 예를 表 1에 표시한다. 그 레벨의 설정이 가능한 경우는 低레벨을 表1에서의 값에 설정하고 高레벨은 그 10배로 설정하는 방법도 있다. 어느 방법에서든 소리 및 빛에 의한 경보는 화재경보 등 시설내의 다른 경보와 명확히 구분할 수 있도록 선택할 필요가 있다.

특히 2레벨의 경보를 발할 경우에는 連續音과 斷續音으로 구별하는 등 시설내의 작업자에 철저히 주지시킬 필요가 있다.

(4) 전리함에는 전리함의 벽에 설치된 작은 구멍에 의해 전리함의 외부와 통해 있는 開放形과 密閉形이 있다. 電離函式 에어리어모니터는 일반적으로 밀폐형을 사용하나 개방형의 경우는 기온과 대기압의 변화에 의한 전리함내 공기의 질량변화에 의해 지시치가 변동하는 것을 주의해야 한다.

(5) NaI檢出器를 사용한 모니터의 指示値는 溫度依存性이 크다. 이로 인해 環境 γ 線모니터링 시스템에서는 검출기의 주위에 일정온도의 공기를 순환시키는 방법, 또는 히터에 의해 일정온도로 유지하는 방법 등이 취해진다. NaI檢出器를 사용한 可搬形모니터 등 비교적 간단한 장치의 경우 취급설명서 등을 통해 온도의존성을 파악해둘 필요가 있다.

1.3 校 正

방사선모니터 등의 측정기는 장기간 사용하면 검출기의 感度變化, 電子回路의 定數變化 등에 의해서 지시치가 최초의 값에서 점차로 벗어지게 된다. 그래서 定期的(通常1回/年)인 校正이 필요하다. 또 고장수리 등을 위해 부품을 교환했을 때는 그때마다 교정해야 한다.

γ 線照射線量(率)計의 교정은 ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{238}Ra 등의 照射裝置와 基準測定器를 사용해서 기준

表 1) γ 線 에어리어모니터 警報設定値의 一例

放射線레벨	設定値
정상 指示値 0.05mR/h 未滿인 것	0.1mR/h
정상 指示値가 0.05mR/h以上인 것	平常時の 2倍
펄스狀運轉에 의해 指示値가 變動하는 것	피크値의 2倍
線源의 移動 등에 의해 급격히 指示値가 變動하는 것	피크値의 2倍

측정기의 지시치와 비교해서 교정하는 방법이거나 또는 基準 γ 線源을 사용해서 교정하는 방법으로 행한다. 前者는 100mR/h程度이상의 高線量率範圍의 교정에 적합하며 後者는 1~20mCi程度의 ^{137}Cs 등의 密封線源을 사용하는 비교적 低線量率範圍의 교정에 적합하다.

γ 線用 Survey meter, 照射線量(率)計 등 검출기와 측정부가 일체 또는 비교적 짧은 케이בל로서 접속되어 있는 장치의 경우는 교정시설에서 위의 방법으로 교정할 수 있으나 관리구역내 에어리어모니터의 경우는 일반적으로 검출부는 벽 등에 붙여지고 검출부와 측정부가 떨어져 있으므로 정기교정을 이와같은 방법으로 행하는 것은 곤란할 때가 많다.

실제로 모니터를 현장에 설치한 상태에서 체크用線源을 사용해서 지시치의 벗어남을 보정하는 방법이 취해지고 있다. 체크용선원과 검출기의 기하학적인 조건이 매회의 점검에서 같게 되도록 線源을 배치해서 지시치를 읽고 모니터의 設置時點 등의 교정시설에서 교정직후의 체크용선원에 의한 지시치와 비교한다. 基準 γ 線源 또는 체크용선원을 사용해서 교정할때는 선원의 減衰를 고려할 필요가 있다.

2. 中性子線 에어리어모니터

2.1 種類와 特性

原子爐施設, 加速器施設, 中性子源 使用施設에서는 中性子線에 의한 體外被曝의 방호가 방사선관리상 문제가 된다. 이들 시설에서는 일반적으로 速中性子和 콘크리트 등의 遮蔽體에

의해서 減速된 중성자가 混在하고 있으며, 熱中性子에서 20MeV정도의 速中性子까지가 관리의 대상이 된다.

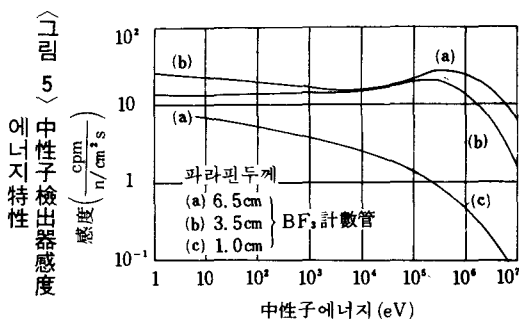
중성자선의 모니터링 방법으로는 直讀式 線量當量率計(rem counter) 또는 중성자용 서베이에미터에 의한 환엽작경의 정기 모니터링, 작업에 따르는 모니터링 및 중성자선 에어리어모니터에 의한 연속감사가 있다. 정기모니터링등에 사용하는 렘 카운터, 서베이에터는 그 感度特性을 중성자 線質係數의 에너지依存度에 맞는 검출기로서 線量當量率을 직접 구하는 방법이거나 또는 그 에너지분포를 구해서 線量當量率으로 변환하는 방법이 사용된다. 이에 비해서 중성자선 에어리어모니터는 주로 이상발견을 목적으로 해서 熱中性子線, 速中性子線 또는 양자의 fluence率(n/cm^2s)을 측정, 감시한다.

현재 중성자선 에어리어모니터의 검출기로서는 BF_3 計數管이 일반적으로 사용되고 있다. BF_3 計數管은 $^{10}B(n, \alpha)^7Li$ 反應에 의해서 생성되는 α 粒子和 反跳核에 의한 電離를 이용한 BF_3 가스를 채운 比例計數管이다. BF_3 計數管의 熱中性子에 대한 感度(單位中性子 fluence率當의 計數率, $cps/n\ cm^{-1}s^{-1}$)는 充填가스의 압력, 계수관의 유효용적 등에 의해서 정해진다. 서베이에터 및 모니터에 사용되는 BF_3 計數管의 몇 가지 사양을 表 2에 나타내었다. 모니터의 측정범위는 이들의 계수관을 선택함으로써 高感

도의 경우 $0.1-10^3n/cm^2s$ 低感도의 경우 $10-10^5n/cm^2s$ 정도의 중성자 fluence率을 측정할 수 있다.

BF_3 計數管은 열중성자에 높은 감도를 가지나 중성자에너지의 증대에 따라 감소한다. 따라서 열중성자모니터는 BF_3 計數管을 그대로 알루미늄 등의 케이스에 넣어서 사용하며, 速中性子에 대해서는 감도를 높이기 위해 파라핀 등의 減速材를 이용하는 방법이 취해진다. BF_3 計數管을 두께 數cm의 파라핀減速材로 덮어서 사용하면 열중성자에서 10MeV정도의 速中性子까지 측정이 가능하다. 또 감속재의 표면을 0.5mm 정도의 카드뮴판으로 덮으면 약 0.5eV이상의 速중성자만을 측정할 수 있다.

BF_3 計數管(96%濃縮 ^{10}B , 가스壓200mmHg, 有效體積11.7 cm^3)을 여러가지 두께의 파라핀감속재로 덮었을 경우의 감도의 에너지존선을 그림 5에 표시한다. ^{10}B 의 (n, α) 反應의 Q値는 2.78MeV로 높으므로 γ 線과 중성자에 의한 P-



〔表 2〕 中性子線 에어리어모니터에 사용되는 BF_3 計數管의 例

項目 \ 形式	NDB 41202	NDB 52152	NDB 52352	NDB 54352
BF_3 가스壓 (cmHg)	20	15	35	35
動作電壓 (V)	1,500±200	1,400±200	2,000±200	2,000±200
外形 (mm)	φ 25×160	φ 25×266	φ 25×266	φ 25×446
길이 (mm)	70	120	120	300
면적 (cm^2)	13	54	54	136
熱中性子感度 ($cps/n\cdot cm^{-2}\cdot s^{-1}$)	0.33	0.94	2.19	5.47
用途	survey meter用	一般計測 및 모니터用		一般計測 및 모니터 (高感度)用
플래토우	範圍 150V 以上, 傾斜 3%/100V 以下			

ulse波高値의 차가 커서 간단한 波高判別에 의 해 중성자의 검출효율을 낮추지 않고 γ 線의 신호를 排除할 수 있다.

2.2 使用法 및 使用上 注意

일반적으로 中性子線모니터링의 대상이 되는 작업환경에서는 X· γ 線이 混在하고 있으므로 γ 線 에어리어모니터를 설치하여 γ 線量率에 이상한 변동이 인지되었을 때는 γ 線의 모니터링과 함께 rem counter 등을 사용해서 중성자선의 상세한 모니터링을 하는 방식으로 관리하는 경우도 있다. 그러나 실험장치를 부속하고 있는 研究用 原子爐施設, 加速器施設 등 中性子線量當量率의 큰 변동이 예상되는 대형시설에서는 이상의 조기발견을 목적으로 中性子fluence率을 연속감시하기 위해 중성자선 에어리어모니터를 설치한다.

BF₃計數管에 數cm두께의 파라핀을 감속재로서 사용했을 경우 그림 5에서와 같이 단위중성자fluence率當 계수율은 10MeV程度까지의 중성자에 대해서는 거의 일정하다고 볼 수 있으므로 모니터의 지시눈금은 중성자fluence率(n/cm²s)로서 사용할 경우와 펄스計數率(cps)의 경우가 있다. 中性子fluence率에서 線量當量率으로의 換算係數는 에너지에 의존하므로 모니터의 지시치에서 선량당량율을 알기 위해서는 에너지분포를 파악하고 있어야 한다. 실제로 시설의 가동개시 시기나 실험장치, 차폐 등이 변경되었을 때 렘 카운터 또는 중성자서베이미터에 의한 상세한 서베이를 행하여 그 측정치와 모니터의 지시치와 대응해두면 모니터의 검출기 위치의 선량당량율을 알 수 있다. 모니터의 지시치가 이상하게 변동했을 때는 상세한 서베이를 행하여 적절한 조치를 강구해야 한다.

中性子線 에어리어모니터의 檢出器 設置場所의 선택방법 및 警報設定의 사고방법은 기본적으로는 γ 線 에어리어모니터의 경우와 같다. BF₃計數管은 적절한 波高判別을 행하면 5R/h(⁶⁰Co

γ 線)의 高照射線量率에서도 速中性子線의 측정이 가능하다고 보고되어 있으나 linac이나 betatron에서와 같이 pulse狀으로 beam이 加速되고 또한 X線이 중성자에 비해 압도적으로 많은 부근 가까이에서는 BF₃計數管이 X線에 의한 pulse를 감지하기 때문에 이와같은 장소에서의 사용에는 충분한 주의가 필요하다.

2.3 校 正

중성자 플루엔스율로 눈금이 되어있는 모니터의 경우 中性子放出率(n/s)이 값지워져 있는 ²⁴¹Am-Be, ²⁵²Cf 등의 基準線源을 사용하거나 혹은 이미 校正되어 있는 基準測定器와 비교하는 방법으로 교정한다.

열중성자모니터의 경우는 탄소나 파라핀의 감속재 속에 中性子線源을 두고 熱中性子場을 만들어 감속재 속에 설치한 空洞內에 측정기의 검출부를 넣어 교정하는 방법이 취해진다. 또 열중성자에서 속중성자까지를 대상으로 한 모니터의 경우는 위의 중성자선원의 중성자방출율에서 거리의 함수로서 중성자플루엔스율을 구하여 교정할 수 있다.

중성자선 에어리어모니터도 γ 線 에어리어모니터의 경우와 마찬가지로 定期校正 때마다 모니터의 검출부와 측정부를 교정시설로 옮겨와서 교정하는 것이 곤란할 때가 많다. 실제로 모니터를 한번 교정시설에서 교정하고 동시에 ²⁴¹Am-Be 등의 中性子線源을 검출기에 密着시키는 등 검출기와의 위치관계를 재현시킬 수 있는 배치로 했을 때의 지시치를 기록해두고 그 지시치가 일정해지도록 조정하는 방법이 취해진다.

3. 물모니터

3.1 種類와 構造

관리구역에서 배출되는 放射性廢液은 배출 때마다 舍 α , 舍 β 및 舍 γ 放射能濃度를 측정하고 관리기준치와 비교해서 처리된다. 일반적으로 舍 α , 舍 β 의 방사능도는 蒸發乾固法에 의해서, 또

γ 放射能濃度は NaI(Tl) 신틸레이션 검출기를 사용한 측정장치, 혹은 Ge(Li) 검출기에 의한 γ 線 스펙트럼解析에 의해서 구하는데 배수구에 물모니터를 설치해서 배출방사능농도의 연속감시도 행하는 경우가 있다. 물모니터에는 ^{14}C , ^{32}P 등 γ 線을 방출하지 않은 핵종의 감시를 목적으로 하는 β 線檢出形과 γ 線檢出形이 있다.

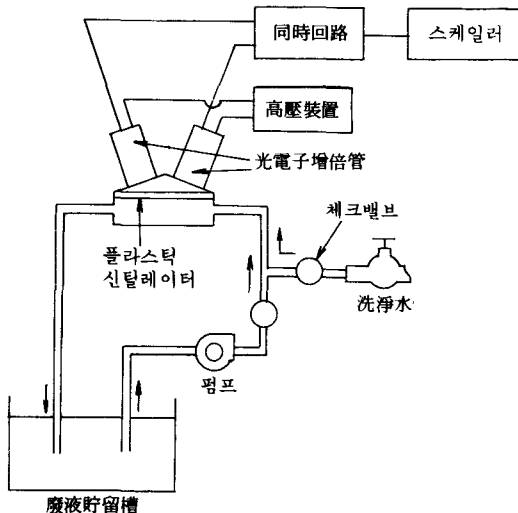
3.1.1 β 線 물모니터

β 線 물모니터는 그림 6에서와 같이 펌프에 의해서 측정대상의 물중 일부를 검출부에 도입하는 샘플부와 방사능농도를 측정하는 측정부로 이루어져 있다. 보통 샘플부에는 검출부내의 오염을 제거하기 위해 洗淨水를 흘릴 수 있도록 배려되고 있다.

검출기는 직경 200mm, 두께 2mm의 plastic scintillator에 의한 빛의 신호를 光電子增倍管으로 전기신호로 변환함과 함께 增幅하여 프리앰프를 통해서 스케일러 또는 펄스計數率計에서 계수한다. 光電子增倍管은 光電陰極으로부터 자발적으로 방출되는 熱電子에 기인한 잡음을 발한다.

통상 이들의 熱雜音은 波高判別回路에서 제거할 수 있으나 ^3H , ^{14}C 등과 같이 대단히 낮은 에

〈그림 6〉 β 線 水모니터構成圖



너지의 β 線을 측정할 때는 波高判別回路에서 분리하는 것이 곤란하다. 이 대책으로는 일반적으로 두가지 방법이 사용되고 있다. 하나는 그림 6에서와 같이 2개의 광전자증배관의 출력을 同時計數回路를 통해서 計數하는 방법이다. 2개의 광전자증배관 잡음은 각각 독립적으로 발생하므로 우연히 동시에 발생했을 때를 제외하고는 잡음을 제거할 수 있다. 다른 하나는 광전자증배관을 냉각시켜 光電陰極으로부터의 熱電子放出을 低減하는 방법이다. 실제의 장치에서는 동시계수에 의한 방법이나 또는 냉각장치로 검출부를 냉각하는 방법이 사용되고 있다.

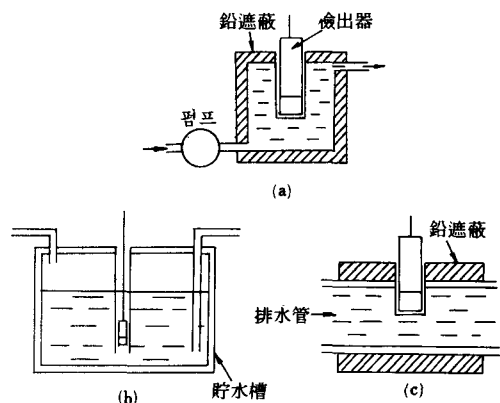
3.1.2 γ 線 물모니터

γ 線을 방출하는 핵종을 측정대상으로 하는 물모니터는 일반적으로 γ 線에 대해 검출효율이 높은 NaI 검출기를 사용하고 있다. γ 線 물모니터의 검출부는 그림 7에서와 같은 여러가지 방식이 있다.

그림 7(a)는 廢水貯留槽 혹은 도중의 배관에서 펌프를 사용해서 샘플시료를 채취해서 측정하며, (b)는 貯水槽에 검출기를 넣어서 측정한다. 이것들 외에 (c)에서와 같이 배관에 검출기를 삽입하거나 또는 접근해서 설치하여 管内를 흐르는 물속의 방사능 농도를 측정하는 방식도 있다.

채수방식에서는 샘플러의 용적은 30~50 l 정

〈그림 7〉 γ 線 水모니터檢出方式



도로 5~20L/min 程度の 流量率로서 샘플링한다.

검출부는 보통 2inφ×2in의 NaI(TI) 檢出器를 샘플러의 중앙부에 배치하고 있다. 검출기의 출력은 증폭하여 스케일러 혹은 計數率計에서 계수된다. 어느 특정한 에너지의 γ線을 선택해서 측정할 때는 계수장치의 앞에 波高分析器를 넣는다.

3.2 使用法 및 使用上 注意

배수에 관계하는 방사성동위원소의 농도는 배수에서 8시간 동안 평균농도를 배수의 허용농도 이하가 되도록 규정되어 있으며, 일반적으로 배수는 일단 貯留槽에 저류시켜 농도를 측정하고 허용농도 이하임을 확인하고서 배출한다. 이 측정은 蒸發乾固法에 의해서 시간이 걸려 精度가 높은 측정을 하는데는 평상의 방사능농도를 파악해두고 백그라운드에 대해서 방사능농도의 증가가 있을 때 조속히 대처하기 위해 물모니터를 설치한다. 일반적으로 물모니터는 검출기로부터의 신호를 스케일러 또는 計數率計에서 계수하고 단위시간당의 계수치를 구한다. 이 계수율에서 자연계수율을 뺀 計數率과 미리 구해져 있는 濃度換算係數(μCi/cm³/cps)의 곱에서 물속의 방사능농도를 구한다. 濃度換算係數는 샘플러의 形狀, 容積, 檢出器 또는 방사선의 線質 등에 따라서 다르다.

β線 물모니터의 경우 측정대상으로 하고 있는 핵종 또는 측정대상핵종에 가까운 에너지의 β線을 방출하는 핵종의 방사능농도에 명확한 液體試料를 사용해서 單位計數率當의 방사능농도를 구한다. β線 물모니터의 농도환산계수는 물속에서의 β線飛程이 짧기 때문에 β線의 최대에너지에 크게 依存하고 있다. 유효면적 165mm×85mm, 두께 2mm의 플라스틱신틸레이터를 사용한 β線 물모니터의 경우의 濃度換算係數의 보기를 表 3에 예시했다.

γ線 물모니터의 경우 直接檢出器에 入射하는

(表 3) β線 水모니터의 濃度換算係數 一例

核 種	換算係數 (μCi/cm ³)/cps	檢出限界 (μCi/cm ³)	排水許容濃度 (μCi/cm ³)
³ H	3×10 ⁻²	2.2×10 ⁻³	3×10 ⁻³
¹⁴ C	1.7×10 ⁻⁴	1.3×10 ⁻⁵	8×10 ⁻⁴
³² P	1.6×10 ⁻⁶	1.2×10 ⁻⁷	2×10 ⁻⁵
⁴⁵ Ca	9.3×10 ⁻⁵	6.9×10 ⁻⁶	9×10 ⁻⁶
¹⁸⁶ W	3.0×10 ⁻⁵	2.2×10 ⁻⁶	1×10 ⁻⁴
⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	1.9×10 ⁻⁶	1.4×10 ⁻⁷	4×10 ⁻⁷

(檢出限界는 백그라운드 標準偏差의 2倍) 백그라운드 5cps, 測定時間: 60分

γ線과 물속 또는 샘플러벽 등에서의 多重散亂線을 계수한다. 散亂線은 연속스펙트럼이며 피크에너지는 120keV 前後에 있으므로 波高判別레벨의 변동이 계수율에 큰 영향을 준다. 따라서, 波高判別레벨에 상당하는 에너지를 일정하게 유지하도록 정기적으로 점검, 조정할 필요가 있다.

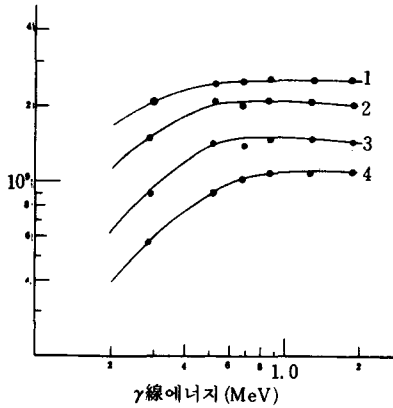
그림 8에 波高判別레벨을 파라미터로 한 에너지특성의 예를 표시한다. 이 그림의 縱軸은 單位濃度當의 계수율이며 濃度換算係數의 逆數, 즉 感度로서 표시되어 있다. γ線 모니터의 측정대상이 되는 각 핵종은 각각 1崩壞當의 γ線放出率이 다르기 때문에 농도환산계수 혹은 감도에너지특성을 나타낼 때는 보통 1崩壞當 1개의 γ線을 방출하는 것으로하여 μCi/cm³의 단위로서 표시한 방사능농도를 사용한다. 이같은 생각에 따르는 농도환산계수를 γ線 濃度換算係數로 해서 구별하는 경우가 있다. 따라서 실제 핵종에 대한 放射能濃度換算係數는 에너지특성에서 얻어지는 값을 그 핵종의 γ線放出率로서 나눈 값이며 복수의 γ線을 방출하는 경우는 이들의 합이다.

물모니터의 測定下限濃度 q(μCi/cm³)는 백그라운드計數率에 의존하며 다음 식으로서 표시할 수 있다.

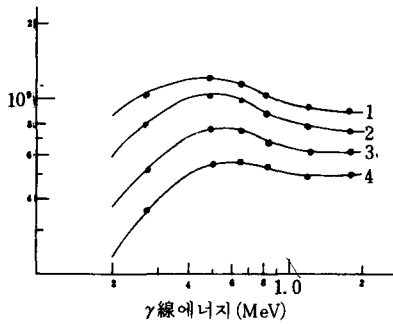
$$q = K \times 3S_b = K \times 3 \left(\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right)^{1/2} \dots \dots (2)$$

여기서 K: 濃度換算係數(μCi/cm³/cps)

〈그림 8〉 γ 線 水 모니터(NaI)2in ϕ ×2in)의
波高判別레벨에 의한 에너지
特性變化



(a) Sampler : 円筒形(直徑, 높이 : 98cm)



(b) Sampler : 円筒形(直徑, 높이 : 35.5cm)

波高判別레벨 (1 : 50keV, 2 : 100keV,
3 : 150keV, 4 : 200keV)

$S^b : n(\geq 20)$ 個의 백그라운드 계수율
測定值 (x_i)의 標準偏差 推定值
(cps)

백그라운드 변동요인으로 檢出部 설치장소의 γ 線量率의 변동과 샘플러내부의 오염에 의한 변동이 있다. 물모니터의 검출부는 백그라운드 낮고 또한 변동이 작은 곳에 설치한다. 부득이 γ 線量率이 높은 곳에 설치하는 경우에는 충분한 차폐를 시행할 필요가 있다.

장기간 사용으로 인해 모니터의 배관, 샘플러 등의 내부가 오염되면 백그라운드가 높아지므로 적당히 세염을 해야한다. 또 샘플러의 吸水側에 고형물을 제거하기 위한 필터가 장치되어 있

을 때는 이들을 정기적으로 교환해야 한다. 샘플링用的 배관이 옥외 등 기온의 영향을 받기 쉬운 곳을 통과하고 있을 때는 겨울철에 유의해야 한다.

3.3 校 正

물모니터는 보통 計數率(cps 또는 cpm)로 지시되고 그 지시치에 測定對象核種에 대응하는 농도환산계수를 곱해서 농도를 산출하는 방법에 취해지고 있으므로 사용기간중 濃度換算係數를 파악해둘 필요가 있다. 그러나 모니터設置後, 基準放射性液體試料를 사용한 校正을 정기적으로 행한다는 것은 곤란하며 또 검출부의 구조·치수가 같고 계수부의 波高判別레벨에 상당하는 에너지가 변치않는다면 일정한 핵종에 대한 濃度換算係數에 큰 변동은 없다고 생각되므로 에어리어모니터 등을 이용하는 방법으로 정기적으로 모니터의 안정성을 확인해서 사용하고 있는 경우가 많다.

γ 線 물모니터의 경우 일반적으로 하나의 형식인 물모니터에 대해 基準放射性液體試料를 사용해서 濃度換算係數를 구해두고 같은 형식의 개개의 모니터 동작확인은 ^{60}Co , ^{137}Cs 등과 固體線源을 사용해서 행하는 방식을 채택하고 있다. 모니터의 設置後는 이 固體線源을 소정의 위치에 두고 과거 점검에서의 지시치와 비교해서 지시치의 변화가 일정 범위를 넘었을 때는 增幅回路의 增幅率 調整 등에 의해서 波高判別레벨을 소정의 에너지에 설정한다.

그림 7 (b)에서와 같이 貯留槽에 검출부를 담그는 방식의 경우 基準放射性液體試料를 사용해서 계산에서 구하거나 또는 실제로 사용중의 貯留槽로부터 시료를 샘플링하여 분석·측정한 결과에서 구한다. 또 天然放射性核種인 ^{40}K 를 사용해서 교정하는 방법도 있다.

^{40}K 의 存在比는 0.0117%이며, KCl의 수용액은 상온에서 최대 $1 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/g}$ 의 방사능농도의 것이 얻어진다.