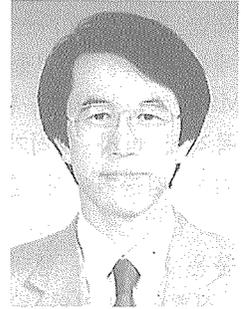


# 방사선 측정기의 바른 사용



장 시 영

한국원자력연구소  
보건 물리 실장

## I. 서론

사람은 방사선을 볼 수 있거나, 느낄 수 있거나, 감지할 수 있는 생물학적 감각기관이 없어서 방사선에 과피폭되어 건강이 손상될 수 있다. 이러한 과피폭을 막기 위하여 적절하고 유용한 방사선 측정기의 사용이 필요하게 된다. 방사선 측정은 방사선 피폭이 예상되는 모든 곳에서 수행되어야 하고, 사용자는 측정하려는 방사선 핵종과 방사선의 종류에 따라서 적절한 방사선 측정기를 사용하여야 하며, 측정된 결과를 올바르게 이해하는 것이 중요하다.

따라서 본고에서는 방사선을 측정하는 기술과 관련된 기본 용어 그리고 실제 방사선 작업현장에서 일반적으로 사용되는 방사선 측정기의 종류, 형태, 사용 방법에 대하여 언급하고자 한다.

## II. 방사선 계측의 개요

자연중에 존재하는 물질의 원자핵은 양자

와 중성자로 구성되어 있다. 일반적으로 우리가 알고 있는 물질의 원자핵은 중성자와 양자의 존재 비율이 같아 물리적으로 안정한 상태를 유지하고 있으나 존재 비율이 다른 물질은 안정한 상태로 돌아가기 위하여 방사성 천이(放射性 遷移)라는 내부핵 변환(內部核 變換)과정을 거쳐 다른 핵종으로 바뀌면서 알파선, 베타선, 감마선, 중성자선 등 여러 가지 형태로 에너지를 방출한다. 이것을 방사선이라 한다.

이러한 방사선은 자신의 에너지를 다른 물질에 전달하여 물질을 전리(電離) 또는 여기(勵起, 흥분)시킨다. 이러한 물질과의 상호작용을 이용하여 방사선의 종류, 에너지 스펙트럼, 시간적 빈도 등을 파악하고, 방사선방호 측면에서 방사선의 영향을 측정하는 것을 방사선 계측이라 한다. 이와 같이 방사선측정기에는 측정목적과 대상 등에 따라 여러가지가 있으나 여기서는 실제 방사선 작업현장에서 방사선방호용으로 사용되는 측정기에 한하여 설명한다.

방사선측정기의 기본 구성요소는 일반적으로 검출기, 증폭기, 신호처리기, 표시기로 구

성된다. (1) 검출기는 방사선의 에너지를 흡수하는 물질을 갖고 있으며, 방사선의 에너지를 전기적 전하로 변환시킨다. 보통 검출기에서 나오는 전기적 전하는 신호를 형성한다. 검출기에는 가스충진 검출기, 전리함, 비례계수관, GM계수관, 섬광계수관, 반도체검출기 등 측정목적에 따라 여러가지 종류가 있다. (2) 증폭기는 검출기에서 출력되는 신호를 전기적으로 알맞은 크기로 증폭한다. (3) 신호처리 부분은 계측기의 형태에 따라 검출기에서 나온 신호의 크기와 수를 측정하는 장치로서 측정된 양을 적절한 방사선의 단위로 변화시킨다. (4) 표시기는 측정된 방사선을 숫자로 표시되는 디지털 형태나 균등하게 배열된 눈금의 지시침으로 나타내게 되는 아날로그 형태로 표시한다. (5) 방사선은 검출기를 구성하고 있는 물질과 상호작용하는 전리방사선(알파 또는 베타 입자, 감마 또는 엑스선, 중성자)이다. 그림 1은 검출기를 구성하고 있는 물질이 방사선의 에너지를 흡수하는 과정을 나타낸다.

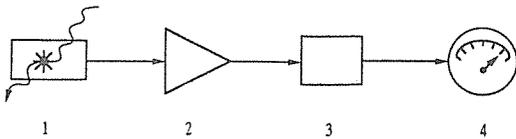


그림 1. 일반적인 방사선 계측기의 기본 구성도

### III. 올바른 방사선 측정 방법

#### 1. 방사선 측정기의 형태

방사선 측정기는 방사선을 검출하여 두가지의 피폭형태를 평가하는데 필요하다. 즉, 인체 외부에 존재하고 있는 선원에 의하여 방출되는 방사선에 피폭되는 외부피폭과 방사

성 물질의 인체내로의 흡입, 섭취에 의한 내부피폭을 평가하는데 방사선 측정기가 사용된다. 방사선 작업장에서 사용되는 방사선 측정기는 보통 4가지의 기본 형태로 분류된다.

- 1) 외부피폭을 평가하는데 사용되는 선량을 측정기
- 2) 외부피폭에 의한 누적선량을 평가하는데 사용되는 개인선량계
- 3) 방사성 물질이 어떤 표면에 존재할 때, 내부피폭의 가능성을 평가하는데 사용되는 표면오염 측정기
- 4) 방사성 물질이 공기중에 존재할 때, 내부피폭의 가능성을 평가하는데 사용되는 공기 및 가스오염 측정기

#### 2. 측정기의 종류와 온도

##### 가. 선량을 측정기

검출기가 방사선의 에너지를 흡수하면 선량을 측정기의 반응은 외부피폭에 의해 인체 조직의 손상 정도를 나타내는 양에 비례한다. 작업현장에서 방사선 작업에 일반적으로 사용되는 측정기는 측정치가 선량당량률의 단위인  $\mu\text{Sv/h}$ 로 직접 나타내며, 흡수선량률 단위인  $\mu\text{Gy/h}$ 로 나타나는 측정기도 있다. 이러한 측정기는 엑스, 감마선 그리고 베타선에만 반응한다. 중성자 측정기는 중성자와 물질의 상호작용시 생성되는 2차전리 방사선에 의한 선량당량률을 측정하기 위하여 특별히 고안되어 있다. 어떤 측정기는 측정치가 구단위인  $\text{mrem/h}$ ,  $\text{mrad/h}$ ,  $\text{mR/h}$ ( $10\mu\text{Sv/h}$ 는  $1\text{mrem/h}$ 이다.)로 나타낸다(보통 X선, 감마선 및 베타선일 경우  $\text{mR}=\text{mrad}=\text{mrem}$ 이다).

변화가 많고 단속적인 방사선장에서는 선량을 측정기가 정확한 반응을 나타내지 못하므로 이러한 방사선장이 있는 작업환경에서는 누적선량을 측정기나 개인선량계를 사용하는 것이 더 좋다.

#### 나. 개인선량계

개인선량계는 방사선에 의한 피폭시 인체에 흡수된 축적 에너지를 측정하는 것이다. 작업자들은 방사선 작업시 반드시 개인선량계를 착용하여야 한다. TLD, 필름배지와 같은 수동적인 개인선량계는 외부피폭에 의한 누적선량을 일상적으로 감시하는 선량계이며, 포켓선량계나 전자선량계와 같은 능동적인 선량계는  $\mu\text{Sv}$ 의 누적선량 단위로 선량을 즉시 나타내며, 피폭선량이 사용자가 설정한 값에 도달하면 경보신호를 보낸다. 능동형 개인선량계는 예를 들어 고선량률에서 단기간 작업할 때와 짧은 기간동안만 방사선을 발생하는 X선 발생기를 취급할 때와 같이 한 순간에 피폭되는 외부피폭선량을 평가하는데 사용된다.

#### 다. 표면오염 검사기

표면오염 검사기는 접근이 가능한 물체 표면의 방사성 물질을 검출하는데 사용된다. 아주 적은 방사선 물질의 농도라도 내부피폭을 일으킬 수 있다. 이러한 측정기의 검출 효율은 여러 핵종에 대하여 0에서 최고 30% 정도밖에 안된다. 그러므로 측정할 때에는 검출기가 측정하고자 하는 방사성 핵종에 대하여 최적으로 결정된 효율을 갖도록 교정된 측정기를 사용하여야 한다. 초당 계수치(cps)의 단위로 측정된 측정치는 평방센티미터당 베크렐의 단위  $\text{Bq}/\text{cm}^2$ 로 환산되어야 한다. 표면오염검사에는 프로그램할 수 있는 측정기도 있으므로 사용하고 있는 방사선 핵종에 잘 반응하도록 사용자가 측정기를 설정하면 직접 표면오염도( $\text{Bq}/\text{cm}^2$ )가 얻어진다.

#### 라. 공기 및 가스오염 감시기

공기오염 감시기는 대기중에 존재할 수 있는 방사성 물질을 검출하는데 사용한다. 이러한 방사성 물질은 공기중의 먼지, 연기, 안개 등에 포함될 수 있으므로 일반적으로 오염된

공기를 여과지에 통과시켜 일정한 유량률로 채취하는 공기시료채취기가 사용된다. 여과지에 축적된 방사성물질을 직접 검출할 수 있는 기기도 있으며, 필요시 여과지는 다른 곳에서 핵종 분석기와 같은 정밀한 방사선 계측장치로 분석될 수도 있다.

가스오염 감시기는 검출기를 갖고 있어 연속적으로 공기시료를 통과시켜 직접적으로 방사성 가스를 측정하여 방사능 농도를 입방미터당 베크렐의 단위( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )로 측정한다.

공기 및 가스오염 감시기는 작업장내의 공기오염도를 평가하는데 사용된다. 개인공기시료채취기는 작업자가 호흡하는 지역의 방사성 물질의 농도를 평가하는데 사용된다. 이러한 기기들은 즉각적인 결과를 나타내줄 수 없는 수동적인 기기여서 작업 후에 작업조건을 평가하는 역할을 할 뿐이다. 공기중 방사능 농도가 사전에 설정된 값에 도달하면 경보를 제공해 주는 능동적인 방사성 핵종 검출장치도 있다.

### 3. 측정기의 올바른 사용

#### 가. 선량률 측정기

사용자는 측정하려는 목적에 따라 적절한 선량률 측정기를 선택하여야 한다. 선택을 잘못하면 부정확한 측정치를 얻어 외부피폭을 평가하는데 많은 오차를 발생시킬 수 있다. 전리함 검출기는 방사선 빔이 좁을 경우 방사선이 검출되지 않거나 아주 낮게 측정되므로 전리함 검출기로 방사선을 측정할 때에는 방사선 빔이 검출기의 크기보다 커야 한다. 이런 경우에는 방사선에 빠르게 반응하는 작은 단창형 GM계수관이나 섬광계수관을 사용하는 것이 유리하다.

전리함을 차폐하기 위하여 사용되는 검출기의 뚜껑은 방사선 판별기의 역할을 하여 방사선의 종류와 에너지를 알 수 있게 해 준

다. 이것은 베타 방사선에서 발생하는 제동복사선을 확인하는데 유용하다.

선량률은 작업과 관련된 피폭선량 관리, 저장된 선원차폐재료의 적절성 점검, 방사성 물질의 운반, 모든 외부피폭선량의 평가 확인 등 여러가지 목적을 위하여 측정된다. 측정치들은 운반시 적용되는 제한치, 작업장을 분류하는 유도준위 등과 같은 적절한 기준준위와 비교되어야 한다.

사용자는 방사선을 측정하기 전에 측정기의 특성과 사용방법을 충분히 습득하여야 한다. 일반적으로 선량을 측정기로 방사선량을 측정하기 위한 절차는 다음과 같다.

- (1) 교정성적서를 점검한다. 최종 점검일자, 점검조건을 확인하고, 점검 결과들이 올바른가를 확인한다.
- (2) 측정하려는 방사선을 평가한다. 올바른 측정치를 얻기 위해 어떤 측정기가 알맞는지를 판단한다.
- (3) 측정기의 설정치를 점검한다. 배터리를 점검하고 검출기의 공급전압을 조정하며, 필요시 영점을 조정한다.
- (4) 측정치를 얻는다. 다중 측정범위를 갖는 측정기에는 최대 측정치에서 시작하여 적절한 측정치를 얻을 때까지 점차적으로 낮은 측정범위로 선택한다. 측정범위를 점검하고 측정치를 적는다. 검출기의 뚜껑이 있을 경우와 없을 경우 또는 베타-감마선 차단기가 열렸을 경우와 닫혔을 경우로 나누어 측정한다.
- (5) 결과를 평가한다. 방사선빔의 크기, 비등방성이나 파동적인 방사선장, 온도, 습도, 공기 압력의 영향, 무선주파수나 전기장의 영향과 같은 요인들이 있는가를 결정한다.
- (6) 보정인자를 적용한다. 측정치에 적절한 보정상수나 교정상수를 곱한다.

- (7) 결과를 기록한다. 결과가 이전의 측정치나 계산치와 비교하여 합당한가를 결정하고 최종결과를 기록한다.

#### 나. 표면오염 측정기

표면오염 측정기는 액체상, 분말상의 개봉된 방사성 물질을 사용하는 곳에서 사용되어야 하며, 오염된 표면에 검출기를 직접 접촉하지 않도록 주의하여야 한다. 하나의 계수율계에 여러 검출기를 사용할 수 있도록 되어 있는 측정기는 여러 검출기를 사용하므로 여러가지 핵종을 검출할 수 있고, 측정치도 쉽게 얻을 수 있다. 작업지역의 표면(의자, 마루바닥 등), 옷, 신체, 운반용기 등의 표면은 정기적으로 오염도가 측정되어야 한다.

표면오염 측정기를 사용하는 일반적인 절차는 다음과 같다.

- (1) 교정성적서를 점검한다. 최종 점검일자, 점검조건을 확인하고, 점검 결과들이 올바른가를 확인한다.
- (2) 오염된 방사성 핵종을 추정한다. 어떤 측정기가 알맞는지를 판단한다.
- (3) 측정기의 설정치를 점검한다. 배터리를 점검하고 필요하면 검출기의 공급전압을 점검 조정한다. 측정은 측정기의 최소 측정범위에서 시작한다.
- (4) 오염된 표면으로 부터 1m 위치에서 백그라운드 측정치를 얻는다.
- (5) 오염된 표면으로 부터 측정치를 얻는다. 검출기의 검출능력에 맞는 속도로 표면에 접촉하지 않는 간격을 유지하여 표면을 검출기로 훑는다. 오염된 표면에서는 약 0.5cm거리에 검출기를 유지시키고 측정치를 얻는다.
- (6) 측정기에 나타난 총 표면오염도를 계산한다. 백그라운드 측정치를 빼고 교정상수를 이용하여 계수율에서 얻어진 측정치를 표면오염도 단위(Bq/

cm<sup>2</sup>)로 환산한다.

(7) 결과를 평가한다. 표면의 굴곡, 방사선의 자기흡수, 알파선이나 저에너지 베타 방출체가 차단되는 습하거나 울퉁불퉁한 표면 등과 같은 요인들이 측정치에 영향을 주었는지를 결정한다.

(8) 결과를 기록한다. 결과가 이전의 측정치나 계산치와 비교하여 합당한가를 결정하고 최종결과를 기록한다.

#### 4. 측정기의 점검 및 교정

##### 1) 선량률 측정기

대부분의 선량률 측정기는 초기에는 제작사에서 점검되고 교정된다. 그 결과를 기기 사용설명서에 측정기의 방향성, 에너지 응답 반응, 정확도와 최대 측정범위, 측정 에너지 범위 등이 기술되어 있다. 모든 측정기는 사용전에 정기적으로 점검되고, 각 측정기를 교정하여야 한다. 측정기의 교정은 표준방사선원을 유지하고 있는 교정기관에서 그림 2와 같이 자격있는 전문가에 의하여 수행되어야 한다.

측정기의 점검과 교정을 하는 목적은 첫째, 측정기가 효율적으로 동작되고 그 특성을 유지하고 있다는 점을 점검하기 위한 것이며 또한 방사선에 대한 반응뿐만 아니라 전기적 기계적 특성을 점검하는 것이다. 둘째, 측정치에 대한 오차의 크기를 나타내기 위한 것이다. 측정기의 오차는  $\pm 20\%$  이내로 허용될 수 있으나, 이 허용오차를 벗어난 측정기는 조정되어야 한다. 측정오차가  $\pm 50\%$ 를 초과하면 사용하기에 부적합한 측정기이다. 또한 측정하고자 하는 방사선의 에너지에 대한 응답반응의 직선성과 측정범위 등이 점검되어야 한다.

사용자는 최종 점검 또는 교정 관련 성적

서를 유지하고 있어야 하며, 측정기를 정기적으로 점검하여야 한다. 자체의 점검선원을 갖고 있는 측정기도 있으며, 이것은 단순히 검출기의 동작을 확인하는데 사용된다. 사용자는 측정기를 사용할 때마다 배터리를 점검하여야 한다.

##### 2) 표면오염 검사기

표면오염 검사기는 그 특성에 따라 특정범위의 방사성 핵종을 측정하도록 설계되고 교정된다. 표면오염 검사기의 오염된 방사성 핵종에 대한 반응은 다음과 같은 요인에 따라 다르게 나타난다.

- (1) 방사선의 종류와 에너지 즉, 오염물질의 방사성 핵종
- (2) 각 방사성 핵종에 대한 검출기의 특성에 의하여 결정되는 측정기 자체의 검출효율, 입사각의 면적과 두께, 검출기 보호망의 크기
- (3) 검출기의 크기를 포함하는 기하학적 조건, 오염된 표면의 특성, 검출기와 측정표면사이의 거리
- (4) 측정기를 구성하고 있는 전자부품에서 발생하는 고유의 전기적인 잡음, 노후화나 불량

측정기는 사용전에 정기적으로 점검되고 교정되어야 하며, 측정기의 성능에 영향을 줄 수 있는 수리를 한 후에도 측정기를 교정하여야 한다. 측정기의 교정은 검출기와 같은 크기의 면적에 방사성핵종이 균일하게 분포되어 있는 표준선원을 사용하여 교정기관에서 자격있는 전문가에 의해 이루어져야 한다. 특히 각종 검출기를 바꾸어 사용할 수 있는 다목적 표면오염 검사기는 각 검출기에 대하여 오염물질에서 방출되는 방사선과 유사한 방사선을 방출하는 방사성 핵종으로 교정되어야 한다. 이 목적은 첫째 각 검출기의 동작 전압을 결정하기 위한 것이며, 동시에 전기

적, 기계적 특성도 점검하는 것이다. 둘째 각 방사성 핵종에 대한 측정기의 검출효율을 얻기 위한 것이며 측정기의 반응과 각 측정범위가 직선성을 유지하는가도 확인하는 것이다. 사용자는 검출효율을 사용하여 측정기의 측정치(cps)를 Bq/cm<sup>2</sup>로 변환하여 표면오염도를 구하여야 한다.

사용자는 측정기의 최종 점검이나 교정 관련 성적서를 유지하여야 하고 정기적인 점검을 하여야 하며, 또한 사용할 때마다 측정기의 배터리를 점검하여야 한다.

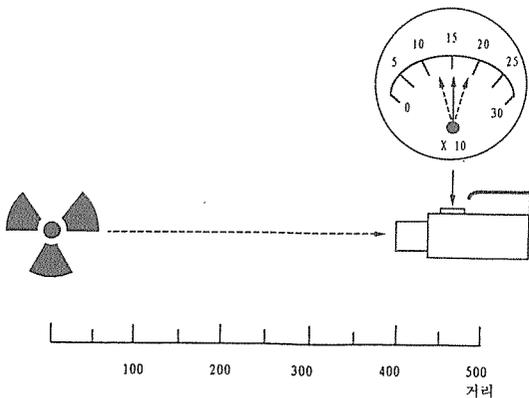


그림 2. 거리에 따른 선량을 측정기의 점검 및 교정

#### IV. 맺음말

원자력관계시설에서는 시설의 방사선 안전성을 확인하고, 작업자의 건강을 보호하기 위한 방사선 방호 프로그램이 수립되어 시행되고 있다. 방사선 방호프로그램이 완벽하게 수행되고 있음을 확인하려면 시설에서 발생될 수 있는 방사선/능의 양이 정확하게 측정·평가되어야 함은 두말할 나위도 없다. 그렇지 않으면 오히려 시설이나 사람에게 더 나쁜 영향을 끼칠 수 있으므로 정확한 측정을 하려면 무엇보다 방사선의 성질이나 방사선 측정기의 특성을 충분히 이해하여야 한다.

방사선 측정기는 측정대상, 측정목적에 따라 여러가지 형태가 있으므로 사용자는 측정하기 전에 방사선의 종류, 방사선 핵종 등을 파악하고 적절한 측정기를 선택하여야 한다.

모든 방사선 측정기는 항상 가동상태를 유지하도록 정기적인 점검을 실시함은 물론, 각 방사선 측정기의 교정주기를 점검하여 한국 원자력연구소와 같은 교정검사기관에서 발행한 교정성적서를 유지하고 있어야 한다. 이렇게 함으로써 언제, 어디서든, 어떤 일이 일어나든 간에 방사선/능의 측정이 필요할 때 적절히 사용될 수 있을 것이다.

방사선 측정기를 올바르게 사용하는 것은 방사선 방호프로그램의 최후전선이라 할 수 있으며, 정확한 측정이 국민의 안전을 지키는 것이라 생각된다.

