



# 공간선량측정법의 실제

## 1. 머리말

공간선량의 측정에는  $\gamma$ 선과 중성자선만이 대상으로 되는데, 측정하는 양은 주변선량당량인 1cm선량당량이다. 이하에 측정방법, 일상점검, 측정의 실제, 백그라운드와 측정치의 평가, 교정법에 대하여 기술한다. 본 기사는 일본 보건물리학회가 편집하고 아이소토프협회가 출판한 「공간선량측정 매뉴얼」(2000.1)의 개요를 소개한 것이다.

## 2. 측정방법

### 2.1 측정점

법령으로 정한 「방사선장해의 우려가 있는 장소의 측정」을 실시하는 측정점은, 관리구역 내, 관리구역 경계, 사업소 경계 및 사업소 내의 사람이 거주하는 구역으로서, 허가신청시의 「차폐계산」으로 선량평가한 점 중에서, 시설에 대한 선량의 대표성, 작업자 등 사람이 접근하는 가능성 및 측정에 요하는 작업량 등에 유의하여 결정한다. 각각의 측정점은 시설의 평면도에 명기해 두는 동시에, 실제의 측정점에도 표시하여 측정자에 관계없이 대회

같은 장소에서 측정할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

### 2.2 측정빈도

측정빈도는 법령에 정해져 있지만, 적합확인의 측정이나 변경 신청을 하기 위한 측정의 경우는, 필요한 기한 내에 실시해야 한다.

측정에는 연속측정과 정기측정이 있다. 선량률이 안정된 장소에서는 선량률을 사용하여 법령에 따라 정기적으로 측정하는 것으로 충분하다. 그러나 방사성 물질, 방사선발생장치 등의 사용상황에 따라 선량률이 변동하는 경우나 선량률이 낮아서 측정에 적합한 선량률계가 없는 경우에는, 적산형선량계를 사용하여 연속적으로 측정하는 것이 바람직하다.

### 2.3 사용하는 측정기

선량측정은 1cm선량당량을 측정할 수 있는 방사선 측정기로 실시한다. 측정기는 그 측정장소의 환경(방사선의 종류, 에너지, 선량률의 대소, 선량변동의 유무 등)에 의하여 적절한 것을 선택한다. 선



량측정에는 적산형선량계를 사용하는 연속적인 측정과 선량률계를 사용하는 정기적인 측정이 있는데,  $\gamma$ 선의 측정에는 이하와 같은 측정기를 사용한다.

- 적산선량계 : TLD(열형광선량계), FGD(형광유리선량계), OSLD(광자극형광선량계), 전자식환경선량계
- 선량률계 : 전리함식 서베이미터, GM계수관식 서베이미터, 신틸레이션식서베이미터, 반도체식서베이미터  
또, 중성자선의 측정에는 이하와 같은 측정기를 사용한다.
- 적산선량계 : 고체비적검출기, TLD내장 램카운터
- 선량률계 : 램카운터, 조직 등가비례계수관

## 2.4 사용상의 주의

- 1) 전리함식 서베이미터의 대부분은 측정의 최소레인지가  $10 \mu\text{Sv/h}$  정도이기 때문에, 측정장소의 선량률이 그 1/10이하의 선량률인 곳에서의 측정에는 적합하지 않다. 전기적인 절연불량에 의한 전하의 자연누설을 막기 위하여 보관할 때는 습도에 주의해야 한다.
- 2) NaI(Tl)신틸레이션식 서베이미터는 저에너지의 X선에 대하여 감도가 낮기 때문에, 측정장소에서  $\gamma(X)$ 선 에너지 분포에 유의해야 한다. 또 후방으로부터의 조사에 대한 감도가 낮기 때문에 선원의 방향에 주의 한다.
- 3) GM식 서베이미터는 1cm선량당량 대응형일지라도 에너지 특성이 좋지 않기 때문에, 측정 대상에 대한  $\gamma(X)$ 선의 에너지 분포에 유의해야 한다. 또 분해 시간이 길기 때문에 고선량률에는 계수 손실이 커지므로, 고선량률(1만 카운트/초 이상)에는 「질식」상태가 되어 계측불능으로 되

기 때문에 주의해야 한다.

- 4) 램카운터는 지시치가 요동하지 않도록 시정수를 길게 설정하고 있기 때문에, 수분 정도는 기다려 안정된 후에 측정한다.

## 3. 일상점검

### 3.1 선량률계의 점검

- 외관점검 : 본체 및 검출부의 파손, 변형 등은 고장의 원인으로 되기 때문에 육안으로 이상 없음을 확인한다.
- 전지 등 점검 : 방사선 측정기는 규정전압에서 정상으로 동작하기 때문에, 전지 전압이 충분하다는 것, 측정기의 고전압이 기정치 내에 있음을 확인한다. 대부분의 서베이미터는, 전원 스위치를 넣으면 계수지시부에 적정한 전지전압치의 범위, 고전압치의 범위가 나타나므로, 이것을 확인한다.
- 케이블 · 코넥터 점검 : 단선, 접속부에 느슨함이 없는지 확인한다. 이것은 측정장치를 작동 상태로 해놓고, 케이블 및 코넥터 부분을 가볍게 움직이면 확인할 수 있다.
- 스위치 등의 점검 : 스위치 등의 접촉 불량을 확인한다. 스위치를 천천히 바꾸어 지시치의 변화 등을 참고로 하면서 동작 불량 등이 없음을 확인한다.
- 영점 점검 : 영점을 조정할 수 있는 측정기(전리함식 서베이미터 등)는, 영점을 조정한 후 얼마 동안 방치하여, 영점의 요동이 적음을 확인한다.
- 동작 점검 : 측정기의 동작 확인으로 백그라운드 계수치의 측정, 계측음의 확인에 의하여 측정기가 정상적으로 작동하는 것을 점검한다. 계측부와 본체를 연결하는 케이블을 움직여 지시치가 갑자기 변동하여 없음을 확인한다.



필요에 따라 체킹소스에 의한 지시치를 확인하고, 최신 교정시의 값과 비교하여 10%이상 변동 있을 때는, 측정치를 감도비로 보정하지 않고, 측정기의 점검과 재교정을 고려하는 쪽이 좋다.

### 3.2 적산형 방사선측정기의 점검

적산형의 방사선측정기를 사용하는 경우에는, 측정기 본체와 판독장치에 대하여 점검할 필요가 있다. TLD나 FGD이면 소자파손 등의 유무, 또 에너지 보정용 필터의 결함 유무를 확인한다. 리더에 대해서는 레퍼런스의 소자 등을 따낸 셀프체크 기능을 가진 것이 있기 때문에, 그 기능을 사용하여 점검을 실시하는데, 연1회 정도 제조회사의 점검 실시가 요망된다.

## 4. 측정의 실제

### 4.1 연속측정

적산형의 측정기에는 「환경측정용」으로서 교정된 것을 사용한다. 선원으로부터의 영향이 적은 곳에 미리 백그라운드 값을 파악해 둔다. 측정기는 마루(지면)에서 1m정도의 위치에 설치한다. 벽, 천장, 마루 등을 관리구역경계로 하고 있는 경우, 측정기는 관리구역 바깥쪽 벽 등에 근접시킨 위치에 설치한다. 방향의존성이 있는 측정기의 경우, 측정기의 정면을 관리구역 쪽으로 향하여 설치한다. 측정기의 설치장소가 옥외인 경우에는 직사일광이 우풍을 피하는 조치를 한다.

측정기의 설치기간은 1주간, 1개월 또는 3개월로 하고 측정기의 교환, 판독시간 이외로 연속적으로 측정을 계속한다. 그러기 위해서 측정기를 2개 준비하여 교대로 사용하면 좋다

설치한 측정기로 얻은 측정치를 실측정시간으로 나눠서 측정기간 중의 평균선량률( $\mu\text{Sv/h}$ )을 산출

하여, 필요에 따라 백그라운드선량률로 보정한다. 이 평균선량률을 해당 13주(3개월)분 평균하여 3개월 간의 평균선량률( $\mu\text{Sv/h}$ )을 산출하여, 관리구역 경계의 경우는 이 평균선량률에 500시간을 곱하여 3개월 간의 선량으로 한다.

### 4.2 정기 측정

측정은 마루(지면)에서 1m정도, 벽에서 0.1m정도 이상 떨어진 장소에서 한다.

검출기의 방향은 선원 위치가 명백한 경우는 그 방향을 향하여, 불명한 경우는 검출기의 방향을 바꾸면서 지시치가 최대로 되는 방향을 찾는다. 벽, 천장, 마루 등을 관리구역 경계로 하는 경우, 경계 바깥쪽에서 측정기를 벽으로 향한 위치에서 한다.

측정기를 지지대에 고정하는 경우, 산란선을 억제하기 위하여 측정기의 지탱은 무거운 금속재는 피하고, 방사선의 산란 영향이 작은 가벼운 지지대에 얹는다.

또 측정자가 측정기를 드는 경우, 측정자로부터의 산란선이 측정에 영향을 주지 않도록 측정기를 되도록 몸에서 멀리한다.

측정은 최대의 레인지에서 시작하여 차츰 레인지를 낮추어, 지시치가 미터지시 범위의 10%이하로 되지 않도록 레인지를 선택한다. 지시치의 판독은 측정기의 시정수의 3배정도를 기준으로 측정기의 지시가 안정된 후 시행한다. 지시치가 변동하는 경우에는, 그 중심값을 취한다.

관리구역 경계에 대하여는, 측정한 선량률에서 미리 측정한 백그라운드 값을 뺀 값이  $2.6\mu\text{Sv/h}$ ( $1.3\text{mSv}$ 를 500시간으로 나눈 값)을 하회하고 있음을 확인한다. 4용(운전)시간을 제한하므로서 관리구역 경계의 선량을 관리하고 있는 시설에서는,  $1.3\text{mSv}$ 를 그 제한 시간으로 나눈 값과 비교한다.



## 5. 백그라운드와 측정치의 평가

### 5.1 백그라운드의 측정과 평가

자연방사선에 의한 백그라운드(이하BG로 약기)는 장소와 시간에 크게 의존한다.

가속기 시설에서는 운전개시 전, RI 사용시설에서는 선원 반입전에 BG를 측정해 두는 것이 중요하다. 가속기 시설에서는 정지 중은 통상 자연방사선 이외의 선량은 무시된다. 에너지가 높은 가속기에서는 방사화로 정지시에도 선량은 높아지지만, 관리구역 경계나 사업소 경계처럼 차폐 밖에서는 이 영향은 무시할 수 있기 때문이다. 따라서 수리 등의 정지시에 어느정도 긴시간을 두고, BG를 측정할 수 있다.

RI사용시설에서는 저장시도 무시할 수 없는 선량이 관측될 때가 있다. 이와 같은 시설에서는 선원으로부터의 영향을 무시할 수 있는 충분히 떨어진 지점에서, 또한 측정점과 주변의 조건이 유사한 장소에서 BG를 측정하면 된다.

특히 미량의 선량을 정확히 측정하는 경우는, BG가 시간에 따라서도 변동하는 것을 고려해야 한다. FGD나 OSLD를 사용하여 적산선량을 측정하는 경우는, BG측정용으로 각각의 선량계를 적절한 장소에 보관한다. 이것을 컨트롤 선량계라 부른다. 측정개소의 주변 환경이 몇가지 패턴인 경우, 컨트롤 선량계도 그 패턴수만큼 준비하면 정도 높은 측정이 가능하다. 부지가 좁아서 선원의 영향을 제거하기가 곤란한 사업소에서는, 부지 내의 BG를 측정할 수 없다. 그 경우, 선원에서 충분히 떨어진 부지 외의 BG 측정에 적합한 곳에서 측정한다. FGD나 OSLD로는 컨트롤 선량계를 부지와외의 적합한 장소에 보관하면 된다.

### 5.2 측정치의 평가

측정치가 BG와 그 표준 편차의 3배를 합한 것, 즉

$(x_0+3\sigma_0)$ 를 초과하고 있지 않을 때, 측정 결과는 「검출한도이하」라 기록하고, 유의한 방사선은 없다고 판단한다. 유의한 선량이 측정되었을 때, 그 값이 선량한도를 초과하고 있는지 없는지의 판단은 아래와 같이 한다.

#### 1) 적합 확인의 판단

관리구역 경계 등의 선량에 대한 적합 확인을 하기 위하여 어떤 장소의 선량률을 측정하는 경우는, 복수회(5회 정도) 측정치의 평균치에서 BG를 뺀 참선량률이 사업소 경계의 선량 한도나 관리구역 경계의 설정 기준치를 초과하고 있지 않으면 문제는 없다. 즉  $x$ 를 측정치의 평균치  $X_L$ 을 선량한도라 하면, 다음 식이 성립하는 것을 확인하면 된다.

$$x - x_0 < x_L$$

3개월간 또는 1개월간 등의 적산선량측정인 경우는 얻은 값 또는 3월 선량으로 환산한 값에서 BG선량을 뺀 참값이 선량한도 등을 초과하고 있지 않으면 문제는 없다.

#### 2) 일상 측정

측정치는 통계적으로 요동하기 때문에, 드물게는 측정치가 선량한도 등을 초과할 가능성이 있다. 측정된 선량률  $x$ 와 그 오차  $\sigma$ 를 얻었을 때, 그 값이 이상이거나, 즉 선량한도 등을 초과하고 있는지 없는지의 여부는 보통  $\pm 3\sigma$ 의 범위를 넘고 있는가로 판단한다. 즉,

$$x - x_0 > x_L + 3\sigma$$

일 때 한하여 이상으로 생각한다.  $x$ 가  $x_L$ 을 초과해도  $x_L+3\sigma$ 을 초과하고 있지 않을 때는, 측정의 기록은  $x$ 을 그대로 기입하고, 「 $x_L+3\sigma$ 을 초과하고 있지 않으므로 이상은 아니라고 판단한다」라고 비고란에 기입하는 것이 좋다. 단, 정상인 경우에도 0.26%의 확률에서 상식이 성립하여 이상으로 되는 가능성이 있기 때문에, 다시 측정하여 신중하게



판단해야 한다.

## 6. 교정법

외부 방사선의 측정 결과에 의거한 관리구역 경계의 선량을 확인하기 위한 방사선 측정기에 대해서는 「측정기는 국가 표준과의 트레이서빌리티(traceability)가 명확한 기준 측정기 또는 수량이 증명되어 있는 선량을 사용하여 측정을 실시하는 날이 일년 이내에 교정된 것을 사용하는 것」으로 되어 있다.

트레이서빌리티라는 것은 「국가표준에 당도할 수 있음」을 증명하는 것이며, ZISZ4511(1999년)에 표시되어 있다. JIS에 나타난 방법으로 교정을 실시하는 경우에는, 정비된 교정시설·설비, 기준 측정기 등이 있어야 하니 그것들이 가지고 있지 않는 소규모 방사선사업소의 일반적인 사용자의 교정 방법에 대하여 기술 한다.

측정기의 교정은 측정기가 강한 충격을 받거나 회로 등을 수리한 경우를 제외하면, 원칙적으로는 연 1회 실시한다. 교정용 선원은 트레이서빌리티가 확보된 선원을 사용하지 않으면 안된다. 이들 선원은 국내외로부터 공급되고 있으며, 국내에서도 대리점을 통해서 구입할 수 있다. 기준 선원에는 조사선량률 기준  $\gamma$ 선원 및 방사능 기준  $\gamma$ 선원이 있다. 앞 것은 선원부의 중심에서 1m 떨어진 지점에 대한 조사선량률이며, 후자는 선원의 방사능으로 값을 매긴 것으로서 증명서가 첨부되어 있다. 또 방사능 기준  $\gamma$ 선원은, 본래 조사선량의 교정용으로 제조된 것이 아니기 때문에, 이 선원을 이용한 경우의 교정오차는 조사선량률 기준  $\gamma$ 선원을 사용하는 경우에 비하면 커진다는 것이 예상된다. 따라서 조사선량률 기준  $\gamma$ 선을 이용할 수 없을 때, 이 선원을 측정기의 교정으로 사용할 경우에도, 교정 오차가

적도록 되도록이면 점선원에 가까운 모양을 한 것을 사용하는 것이 바람직하다.

선원을 사용하기 전에는 선원에 이상이 없음을 확인해야 하며, 방사선 장애방지법에 정의된 방사성 물질에 해당하지 않는 3.7MBq이하의 밀봉 선원을 사용하는 경우에 있어서도 관리 및 취급에는 충분히 주의하지 않으면 안된다.

부적절하게 취급함으로써 밀봉 상태가 파괴되어 오염을 야기할 우려도 있다.

말할 필요도 없이 선원의 밀봉성이 손상되어 있는 경우, 또는 손상될 우려가 있는 경우에는 그 선원은 사용할 수 없다.

선원을 이용하는 데는 증명서에 기재된 트레이서빌리티가 있는 조사선량률치 또는 방사능치를 근거로, 교정실시일 현재의 반감기를 교정하지 않으면 안된다.

또 이들 기준 선원을 사용하는 경우에는, 사용년도 년수(워킹라이프), 적절한 사용조건을 지키는 것이 중요하다.

전술한 교정용 선원을 이용하며 교정을 실시하는 경우는 되도록이면 넓은 장소가 필요하다. 비콜리메이터형의 선원을 사용하는 경우에는 산란선의 영향을 적게 하기 위하여 선원 및 피교정측정기는 방 중앙에 놓고, 또 선원·피교정측정기 간 거리를 2m미만으로 하여 교정하는 것이 바람직하다. 이것은 산란선의 영향 비율이 선원으로부터의 거리가 멀어질수록 증대하기 때문이다.

렘카운터의 교정장에 대해서는 산란중성자 성분의 영향이 비교적 크기 때문에  $\gamma$ 선의 교정장과 비하면 충분히 넓게 할 필요가 있다. 또 마루로부터의 영향을 적도록 핏트구조의 마루도 필요하다. **KRIA**

〈中村尚司, Isotope News, 2002년 2월호〉