



# 공간선량측정법의 실제

## 1. 머리말

공간선량의 측정은 주로 다음 세가지의 목적, (1) 일상관리를 위한 모니터링, (2) 2001년 4월부터의 개정법령에 따른 시설의 적합상황을 확인하기 위한 측정, (3) 1998년 10월 30일 날짜의 방사선안전과장 통지 「외부방사선의 측정결과에 의거한 관리구역의 설정」에 대하여에 대하여 변경신청을 하기 위한 측정으로 나눌수 있다. 이 중에서 (3)은 (2)에 준하여 거의 같다고 생각할 수 있다. (2)나 (3)의 측정 경우는 (1)의 측정에 비하면 측정장소의 선택, 측정빈도, 측정기의 교정 등에 충분한 주의가 요구된다. 이 측정에 관하여 일본보건물리학회와 편집으로 일본아이소토프협회에서 「공간선량측정매뉴얼」을 2002년 1월에 출판되었는데, 여기서 그 개요를 설명한다.

공간선량의 측정은  $\gamma$ 선과 중성자선만이 대상으로 되는데, 측정하는 양은 주변선량당량인 1cm선량당량이다. 이하에 측정방법, 일상점검, 측정의 실제, 백그라운드와 측정치의 평가, 교정법에 대하여 기술한다.

## 2. 측정방법

### 2.1 측정지점

법령으로 정한 「방사선장해의 우려가 있는 장소의 측정」을 실시하는 측정지점은 관리구역내, 관리구역경계, 사업소경계 및 사업소내의 사람이 거주하는 구역으로서 허가신청서의 「차폐계산」으로 선량평가한 지점중에서 시설에 대한 선량의 대표성(선량률이 큰지점은 물론이지만, 선원의 사용상황에 따라 선량률이 변동하는 지점 등도 포함), 작업자 등 사람이 접근할 가능성 및 측정에 요하는 작업량 등에 주의하여 결정한다. 각각의 측정지점은 시설의 평면도에 명기해두는 동시에 실제의 측정지점에도 표시하여 측정자에 관계없이 매일 같은 장소에서 측정할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

### 2.2 측정빈도

측정빈도는 법령으로 정해져 있는데 적합확인 측정이나 변경신청을 하기 위한 측정의 경우는 필요로 하는 기한내(전자는 2003년 3월말까



지, 후자는 변경신청의 기안이전에 실시해야 한다. 측정에는 연속측정과 정기측정이 있다. 선량률이 안정되어 있는 장소에서는 선량률계를 사용하여 법령에 따라 정기적으로 측정하는 것으로 충분하다. 그러나 방사성물질, 방사선발생기 기등의 사용상황에 따라 선량률이 변하는 경우나 선량률이 낮아 측정에 적합한 선량률계가 없을 경우에는 적산형선량계를 사용하여 연속적으로 측정하는 것이 바람직하다.

### 2.3 사용하는 측정기

선량측정은 1cm선량당량을 측정할 수 있는 방사선 측정기를 실시한다. 측정기는 그 측정량의 환경(방사선의 종류, 에너지, 선량률의 대소, 선량변동의 유무 등)에 따라 적절한 것을 선택한다. 선량측정에는 적산형선량계를 사용하는 연속적인 측정과 선량률계를 사용하는 정기적인 측정이 있는데,  $\gamma$ 선측정에는 이하와 같은 측정기를 사용한다.

적산선량계 : TLD(열형광선량계), FGD(형광유지선량계), OSLD(광자극형광선량계), 전자식 환경선량계

선량률계 : 전리함식서베이미터, GM계수관식 서베이미터, 신틸레이션식, 서베이미터, 반도체식서베이미터

또, 중자선의 측정에는 이하와 같은 측정기를 사용한다.

적산선량계 : 고체비적 검출기, TLD내장램카운터

선량률계 : 램카운터, 조직등가비례계수관

### 2.4 사용상의 주의

1) 전리함식서베이미터의 대부분은 측정의 최소레인지가 10 $\mu$ Sv/h정도이기 때문에, 측정장소

의 선량률이 1/10이하의 선량률인 곳에서의 측정에는 적합하지 않다. 전지적인 절연불량에 의한 전하의 자연누설을 막기 위하여 보관할 때에는 습도에 주의한다.

2) NaI(Tl)신틸레이션식서베이미터는 저에너지의 X선에 대해서 감도가 낮으므로(특히 80keV이하의  $\gamma$ 선이나 X선이 중심인 환경측정에 부적합) 측정장소에 대한  $\gamma(X)$ 선의 에너지분포에 주의해야 한다. 또 후방으로부터의 조사에 대한 감도가 낮으므로 선원의 방향에 주의한다.

3) GM식서베이미터는 1cm선량당량 대응형일 지라도 에너지특성이 좋지 않기 때문에, 측정대상에 대한  $\gamma(X)$ 선의 에너지분포에 유의할 필요가 있다. 또 분해시간이 길기 때문에 고선량률에서는 계수손실이 커져, 더욱 높은 선량률(매초 1만카운트 이상)에서는 「질식」을 일으켜 계측불능상태로 되므로 주의한다.

4) 램카운터는 지시값이 휘청거리지 않도록 시정수를 길게 설정하고 있기 때문에 몇분 정도는 기다려 안정된 후 측정한다.

## 3. 일상점검

### 3.1 선량률계의 점검

외관점검 : 본체 및 검출부의 파손, 변형 등은 고장의 원인이 되기 때문에 육안으로 이상유무를 확인한다.

전지등 점검 : 방사선측정기는 규정전압에서 정상적으로 동작하기 때문에, 전지전압이 충분할 것과 측정기의 고전압이 기정치내임을 확인한다. 대부분의 서베이미터는 전원스위치를 ON하면 계수표시부에 적절한 전지전압치의 범위, 고전압치의 범위가 표시되어 있으므로, 그것을 참고로 확인한다.



케이블·코넥터 점검 : 단선, 접속부에 느슨함이 없는 것을 확인한다. 이것은 측정장치를 작동 상태를 두고 케이블 및 코넥터부를 가볍게 움직임으로 확인할 수 있다.

스위치 등점검 : 스위치 등의 접촉불량을 확인한다. 스위치를 천천히 바꾸어 지시치의 변화 등을 참고하면서 동작불량 등이 없음을 확인한다.

0점 점검 : 0점조정부착 측정기(전리합식서베이미터 등)는, 0점 조정후 얼마동안 방치하여 0점의 흔들림이 적다는 것을 확인한다.

동작점검 : 측정기의 동작확인으로서 백그라운드계수치의 측정, 계수소지의 확인으로 측정기가 정상적으로 작동하는 것을 점검한다. 계측부와 본체를 연결하는 케이블을 움직여 지시치가 급히 변동하지 않는 것을 확인한다.

필요에 따라 체킹서스로 지시치를 확인하고, 최신의 교정치와 비교하여 1할 이상 변동하고 있는 경우는 측정치를 감도비로 보정하지 않고 측정기의 점검과 재교정을 고려하는 것이 좋다.

### 3.2 적산형 방사선측정기의 점검

적산형방사선측정기를 사용하는 경우에는, 측정기본체와 판독장치에 대하여 점검해야 한다. 열형광선량계나 형광유지선량계이라면 소자의 파손유무, 또 에너지 보정용 필터의 결탁유무를 확인한다. 리더(reader)에 대해서는 레퍼런스의 소자 등을 집어넣은 셀프체크기능을 가진 것이 있는데, 그 기능을 사용하여 점검을 하지만, 연 1회정도 메이커 점검의 실사가 요망된다.

## 4. 측정의 실제

### 4.1 연속측정

적산형측정기로는 「환경측정용」으로 교정된

것을 사용한다. 선원으로부터의 영향이 적은 곳에서 미리 백그라운드 값을 파악해 둔다. 측정기는 마루(지면)에서 1m정도의 위치에 설치한다. 벽, 천장, 마루 등을 관리구역 경계로 하고 있는 경우, 측정기는 관리구역 바깥쪽 벽에 근접시킨 장소에 설치한다. 방향의존성이 있는 측정기의 경우, 측정기의 정면을 관리구역 쪽으로 향해서 설치한다. 측정기의 설치장소가 옥외인 경우에는 직사일광이나 우풍을 피하는 조치를 취한다.

측정기의 설치기간은 1주간, 1개월 또는 3개월로 하여 측정기의 교환, 판독시간 이외는 연속적으로 측정을 계속한다. 따라서 측정기를 두 대 준비하여 교대로 사용하는 것이 좋다.

설치한 측정기로 얻은 측정치를 실측정시간으로 나눠 측정기간중의 평균 선량률( $\mu\text{Sv/h}$ )을 산출하고, 필요에 따라 백그라운드 선량률로 보정한다. 이 평균선량률을 해당 13주분 평균하여 3개월간의 평균선량률( $\mu\text{Sv/h}$ )을 산출하고, 관리구역경계인 경우는 이 평균선량률에 500시간을 곱해서 3개월간의 선량으로 한다.

### 4.2 정기측정

측정은 마루(지면)에서 1m정도, 벽에서 0.1m정도 이상 떨어진 위치에서 한다. 검출기의 방향은 선원위치가 분명한 경우는 그 방향을 향하고, 불명한 경우는 검출기의 방향을 바꾸어 지시치가 최대로 되는 방향을 찾는다. 벽, 천장, 마루 등을 관리구역경계로 하는 경우, 경계바깥 쪽에서 측정기를 벽으로 향한 위치에서 측정한다.

측정은 최대레인지에서 개시하여 순차레인지를 낮춰, 지시치가 지시범위의 10%이하로 되지 않도록 레인지를 선택한다. 지시치의 판독은 측정기의 시정수의 3배 정도를 목표로 측정기의 지시가 안정된 후 측정한다. 지시치가 변동할 때는



그 중심값을 판독한다.

관리구역경계에 대해서는, 측정된 선량률에서 미리 측정된 백그라운드값을 뺀 것이  $2.6\mu\text{Sv/h}$ ( $1.3\text{mSv}$ 를 500시간으로 나눈 값)를 하회하고 있음을 확인한다. 사용(운전)시간을 제한함으로써 관리구역경계의 선량을 관리하고 시설에서는,  $1.3\text{mSv}$ 을 그 제한시간으로 나눈 값과 비교한다.

4.3 법령개정에 따른 적합확인을 위한 측정 일상적인 모니터링방법에 준거하여, 다음과 같은 점을 고려하여 측정결과를 평가한다.

측정기는 밀봉선원의 일상모니터링의 경우와 마찬가지로, 기준치의 한계점에 다달은 경우에는 복수의 측정기(전리함식 서베이미터 등)를 사용하여 재측정한다.

측정은 신청서의 차폐계산에 이용한 사용조건에서 측정치가 최대가 된다고 생각되는 조건을 설정하여 시행한다. 신청서의 조건을 만족시킬 수 없는 경우는 측정기를 보정해야 필요가 있다.

측정지점의 선정은 신청서의 평가점에 넣어 측정지점까지의 거리, 그 사이의 차폐, 방향성을 고려하여, 동등한 선량으로 되는 지점이나 최대치를 나타내는 지점을 선정한다.

측정회수는 각 측정지점을 약 다섯 번 측정하여, 그 평균치를 측정선량으로 한다. 만약 유의(30 이상)로 평균치에서 벗어난 값이 측정되었을 때는, 그 값은 제외하고 측정회수를 그 몫만큼 더하여 평균치를 구할 것 측정기의 교정데이터를 기록보관해 둘 필요가 있다.

자연방사선에 의한 백그라운드는 장소와 시간에 크게 의존한다. 가속기시설에서는 운전개시전, RI사용시설에서는 선원반입전에 백그라운드를 측정해 두는 것이 중요하다. 가속기시설에서는 정지중은 통상 자연방사선 이외의 선량은 무시할 수 있다. 고에너지가속기에서는 방사화에 의하여 정지시에서 선량률은 높아지지만, 관리구역경계나 사업소경계처럼 차폐바깥은 그 영향은 무시할 수 있다. 따라서 보수 등의 정지시에는 어느정도 오랫동안 백그라운드를 측정할 수 있다.

RI사용시설에서는 저장시도 무시할 수 없는 선량이 관측될 때가 있다. 이와 같은 시설에서는 선원으로부터의 선량을 무시할 수 있는 충분히 떨어진 지점에서, 또 측정지점과 주변의 조건이 비슷한 장소에서 백그라운드를 측정하면 된다.

특히, 미량의 선량은 정확하게 측정할 경우는 백그라운드가 시간에 따라서도 변동한다는 것을 고려해야 한다. 형광유지선량계가 OSL선량계를 사용하여 적산선량을 측정할 경우는, 백그라운드 측정용으로 각각의 선량계를 적절한 장소에 보관한다. 이것을 컨트롤 선량계라 부른다. 측정개소의 주변환경이 몇개 패턴인 경우는, 컨트롤선량계도 그 패턴수 만큼 준비하면 정도 높은 측정을 할 수 있다.

부지가 좁고 선원의 영향을 없애는 것이 곤란한 사업소에서는, 부지내에서 백그라운드는 측정할 수 없다. 그경우는 선원에서 충분히 떨어진 부지바깥의 백그라운드측정에 적합한 장소에서 측정한다. 유지선량계나 OSL선량계는 이 컨트롤선량계를 부지바깥의 적합한 장소에 보관하는 것이 좋다.

## 5. 백그라운드와 측정치의 평가

### 5.1 백그라운드의 측정과 평가

### 5.2 측정치의 평가



측정치가 백그라운드와 그 표준편차의 3배합 ( $x_B + 3\sigma_B$ )을 초과하고 있지 않을 때, 측정결과는 「검출한계이하」라 기록하고, 유의한 방사선을 없다고 판단한다.

유의한 선량이 측정되었을 때, 그 값이 선량한도를 초과임리않는지의 여부판단은 다음과 같이 한다.

### 1) 적합확인의 판정

법령개정에 따라 관리구역경계등의 선량적합을 확인하기 위하여 어느 장소의 선량률을 측정하는 경우는, 복수회(5회정도) 측정한 값의 평균치에서 백그라운드를 뺀 참선량률이 사업소경계의 선량한도나 관리구역경계의 설정기준치를 초과하고 있지 않으면 문제는 없다. 즉,  $x$ 를 측정치의 평균치,  $x_L$ 을 선량한도라 하면, 다음 식이 성립하는 것을 확인하면 된다.

$$x - x_B < x_L$$

3개월간 또는 1개월간 등의 적산선량측정인 경우는 얻은 값 또는 3개월 선량으로 환산한 값에서 백그라운드선량을 뺀 참값이 선량한도를 초과하고 있지 않으면 문제는 없다.

### 2) 일상측정

측정치는 통계적으로 요동하기 때문에, 드물게 측정치가 선량한도 등을 초과할 가능성이 있다. 측정된 선량률  $x$ 와 그 오차  $\sigma$ 을 얻었을 때, 그 값이 이상한지, 즉 선량한도 등을 초과하고 있는지의 여부는 보통  $\pm 3\sigma$ 의 범위를 넘고 있는지의 여부를 판단한다. 즉

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

일때에 한하여 이상이라고 생각한다.  $x$ 가  $x_L$ 을 초과하고 있어도  $x_L + 3\sigma$ 을 초과하고 있지 않을 때는, 측정의 기록은  $x$ 를 그대로 기입하고, 「 $x_L + 3\sigma$ 을 초과하고 있지 않으므로 이상을 아니다」라고

판단한다」라고 비교란에 써넣은 것이 바람직하다. 단, 정상인 경우일지라도 0.26%의 확률로 상식이 성립하여 이상으로 되는 가능성이 있기 때문에, 다시 측정을 하는 등 신중하게 판단해야 한다.

## 6. 교정법

외부방사선의 측정결과에 근거한 관리구역경계의 선량 측정을 확인하기 위한 방사선측정기에 대해서는 「측정기는 국가표준과의 트레이서빌리티(traceability)가 증명되어 있는 선원을 사용하여 측정실시일이 1년이내에 교정된 것을 사용할 것」으로 되어 있다. 트레이서빌리티란 「국가표준에 당도할 수 있는 것」의 증명이며, JIS Z 4511(1999년)에 제시되어 있다. 그러나 JIS에 제시된 방법으로 교정을 실시하는 경우에는 정비된 교정시설·설비 기준측정기 등이 필요하며, 이것들을 가지고 있지 않은 소규모적인 방사선 사업소의 일반적인 사용자의 교정방법에 대하여 기술한다.

측정기의 교정은 측정기가 강한 충격을 받은 경우나 회로 등을 수리한 경우를 제외하여, 원칙으로는 연 1회 시행한다. 교정용선원은 트레이서빌리티가 확보된 선원을 사용하지 않으면 안된다. 이들 선원은 국내외로부터 공급되고 있으며, 국내의 대리점에서 구입할 수 있다. 기준선원에는 조사선량률기준  $\gamma$ 선원 및 방사능기준  $\gamma$ 선원이 있다. 앞건은 선원부의 중심으로부터 1m의 지점에 대한 조사선량률로, 뒤건은 선원의 방사능으로 값매김한 것으로 증명서가 첨부되어 있다.

또 방사능기준  $\gamma$ 선원은, 본래 조사선량의 교정용으로 제조된 것은 아니기 때문에 이 선원을 사용한 경우의 교정오차는 조사선량을 기준  $\gamma$ 선



원을 사용한 경우에 비하면 커질 것이 예상된다. 조사선량률 기준  $\gamma$ 선원을 이용할 수 없을 때이며, 이 선원을 측정기의 교정에 사용할 경우에서도 교정의 오차가 작아지도록 될 수 있는 한 점선원에 가까운 형상인 것을 사용하는 것이 바람직하다.

선원을 사용하기 전에는, 선원에 이상이 없다는 것을 확인하는 것이 필요하며, 방사선장해방지법에서 정의된 방사성물질에 해당하지 않는 3.8MBq이하의 밀봉선원을 사용하는 경우에 있어서도, 관리 및 취급에는 충분히 주의하지 않으면 안된다. 부적절하게 취급함으로써 밀봉상태가 파괴되어 오염을 야기할 수도 있다. 말할것 없이 선원의 밀봉성이 손상되어 있는 경우, 또는 손상될 우려가 있는 경우에는 그 선원을 사용해서는 안된다.

선원을 사용하는데는, 증명서에 기재된 트레이서빌리티가 있는 조사선량률치 또는 방사능치를

바탕으로, 교정실시일에 반감기의 보정을 하지 않으면 안된다. 또 이들 기준선원을 사용하는 경우에는, 사용한계연수(working life), 적절한 사용조건을 지키는 마음가짐이 중요하다.

전술한 교정용선원을 사용하여 교정을 실시하는 경우는 되도록 넓은 장소를 이용한다. 콜리메이터되지 않는 선원을 사용하는 경우에는, 산란선의 영향을 적게하기 위하여 선원 및 피교정측정기는 실내의 중앙에 놓고, 또 선원·피교정측정기 거리를 2m미만에서 교정하는 것이 바람직하다.

이것은 산란선의 영향비율이 선원에서 거리가 멀수록 증대하기 때문이다. 램카운터의 교정장에 대해서는 산란중성자성분의 영향이 다소 크기 때문에,  $\gamma$ 선의 교정장과 비하면 충분히 넓게할 필요가 있다. 또 마루로부터의 영향이 적도록 pit 구조의 마루도 필요하다. **KRIA**

