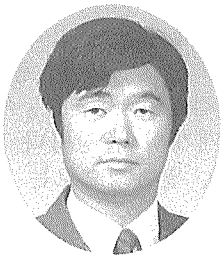
# 방사선측정의 오차와 보정



서 경 원
한국원자력연구소 방사선안전관리실장

## 1. 측정의 오차

측정이란 어떤 변수나 양의 값을 결정하는 것이며 측정결과에 따라 다음의 두가지 원칙을 염두에 둘 필요가 있다.

원칙 1. 오차없이 결과를 얻은 측정은 없다.

원칙 2. 오차를 나타내지 않는 측정결과는 가치가 없다.

또한 오차의 정의는 오차 = 측정치－참값 또는 오차 = 측정치의 불확정성 평가치로 나타낼 수 있으며 오차를 결정하는 일은 측정행위 만큼 중요하다.

측정의 정확성의 한계는 여러가지 원인이 있다. 그 주요한 원인은 다음과 같다.

1) 잘못 교정된 장치
2) 측정치의 계산 잘못 혹은 판독오차
3) 온도, 압력, 습도 등 주위조건 변화
4) 메타의 지침, 시계, 간격, 렌즈등의 한계치
5) 원자, 전자, 분자, 양자 등의 영향을 검출하는 측정장치의 감도 한계
6) 최초상태를 정확히 알 수 없는 경우
7) 방사성붕괴의 통계적 성질인 경우,

방사성동위원소의 원자 1개가 어느시간 동안에 붕괴하는 확율을 나타내며, 이것이 유일한 정보이므로 확율은 계산할 수 있지만 그것은 어디까지나 확율이지 측정에 관한 모든것을 결정해서 확정할 수 있는 것은 아니다.

## 2. 측정치의 보정

방사선측정에서 얻어진 값은 선원과 검출기등의 많은 원인으로 참값을 얻지 못한다. 따라서 각각에 대한 보정이 필요하지만 여기에서는 일반적인 보정의 주요 경우만 취급한다.

### 가. 계수형 측정기의 분해시간 보정

방사선측정기는 필연적으로 유한한 분해시간을 갖는다. 따라서 긴 분해시간을 갖는 측정기로 불규칙하게 일어나는 현상을 계수하는 경우에 계수치를 잃어버리는 경우가 발생한다. 검출기로서 어느 정도이상 높은 계수율에는 지시치가 떨어지는 질식형의 경우도 있다. 분해시간이 일정하므로 그 시간 동안에는 신호를 응답할 수 없어 분해시간 내에 2개이상의 신호가 들어오면 다음의 간단한 계수보정식을 사용한다.

지금 진계수율을 $n_0$, 계수율을 n, 분해시간을 τ라 하면 단위시간내에 실제 측정한 시간은($1-n\tau$)이므로, 다음과 식이 유도된다.

$$n_0 = \frac{n}{1-n\tau} \quad \text{또는} \quad n = \frac{n_0}{1+n_0\tau} \cdots\cdots \quad (1)$$

$n_0$가 대단히 큰 경우에 n는 일정한 값으로 포화된다. 이 때 n의 값은 다음과 같다.

$$n_{max} = \frac{1}{\tau} \cdots\cdots \quad (2)$$

나. 감쇄와 산란의 보정

방사선은 선원으로부터 검출기에 들어갈 때까지 주위의 물체와 반응하여 감쇄나 산란된다. 그 정도는 방사선의 종류와 에너지, 선원의 상태, 검출기의 구조등에 의해 조금씩 다르므로 개개의 측정마다 평가를 하지 않으면 안된다. 일반적으로는 다음과 같은 것이 있다.

(1) 선원자체내의 자기흡수와 자기산란
(2) 선원용기, 선원용기와 검출기창 사이의 공기층 및 검출기창에서의 감쇄와 산란
(3) 선원지지물로 부터의 후방산란
(4) 주위의 물체 혹은 공기에 의한 산란

하전입자에는 (1)과 (2)가 중요하지만 특히 베타선에는 (3)과 (4)도 무시할 수 없다. 엑스선이나 감마선에 있어서는 (1)과 (2)가 저에너지에서 크게 작용하고, (3)과 (4)는 고에너지에서 비교적 큰 비중을 차지한다.

다. 2차 방사선에 대한 보정

측정대상인 방사선에 의해서 발생된 2차 방사선이 검출기에 동시에 입사하는 경우가 있다. 예를 들면 베타선의 측정에 있어서 제동복사선, 감마선 측정에 있어서 2차전자나 형광 엑스선, 중성자의 측정에 있어서 방사화 된 물질로 부터의 방사선이나 포획 감마선이 있다. 이것들은 측정되고 있는 선원자체가 원인이 되고 있어 이 기여분을 자연계수율로서 평가하거나 제거하는 것이 그렇게 간단하지는 않다.

### 3. 계수치의 통계적 오차

계수형의 검출기에서 얻어진 계수치는 전체 측정조건이 일정하지만 매측정마다 다른 수치로 나타난다. 이것은 측정조작에 따른 측정오차는 없고 방사성붕괴나 계수과정에서 갖는 우연성이 원인이 되는 본질적인 변동으로, 이것을 계수의 통계적변동이라 한다.

가. 방사성붕괴의 통계적 성질

방사성물질의 붕괴는 불규칙하게 일어나는 현상이지만 확율적인 법칙을 따르고 있다. 지금 N개의 방사성물질이 있을 때 붕괴의 부분은 다음식으로 나타난다.

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3)$$

여기에서 λ는 붕괴상수이며 1개의 원자가 1초간에 붕괴를 일으키는 확율이 λ와 같다. 따라서 λN은 1초간에 붕괴하는 원자수의 기대치이다. 특정한 1초간에 붕괴하는 원자의 수는 정확하게 λN개만은 아니며, 이 값 부근의 무리들로 나타난다. 이런 분포는 통계적으로 포아슨(Poisson)분포로 된다. 즉, 정확히 n이라는 수치가 나타날 확율 P(n)은 λN＝m이라고 써서 다음식과 같이 나타낸다.

$$P(n) = \frac{m^n}{n!}e^{-m} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4)$$

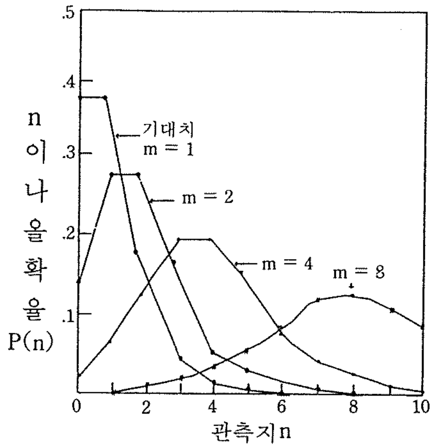



그림 1. 포아슨 분포

그림 1에서는 어떤 m에 대해서 n의 빈도를 나타내고 있다. 실측의 결과도 포아슨분포와 매우 일치하는 것으로 확인되었다. 포아슨분포의 넓이를 나타내는 분산은 포아슨분포의 성질로 부터 그 평균치 m과 같다. 따라서 분산의 평방근으로 주어진 표준편차는 σ는 $\sigma = \sqrt{m}$으로 된다. 즉, 포아슨분포에 항상 평균치가 주어지면 분포의 표준편

차가 정해진다.

또한 평균치 m이 10 이상이 되면 포아슨분포와 가우스(Gauss)분포는 같게 되므로 평균치 m, 표준편차 $\sqrt{m}$을 갖는 가우스분포는 다음식에 접근한다.

$$P(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi m}} \cdot \exp\left[-\frac{(m-n)^2}{2m}\right] \cdots (5)$$

따라서 수학적으로는 가우스분포 쪽이 계산하기 쉽다.

### 나. 계수치의 통계오차

측정에서 얻어진 계수치에 대해서도 위와 같은 방법으로 취급해도 좋다. 즉, 계수치의 기대치를 M으로 하면 계수치 분포의 표준편차 σ는 $\sigma = \sqrt{M}$으로 된다. 그러나 실제로 기대치 M은 알지 못하는 경우가 많고 실험적으로는 극히 다수의 측정치를 얻어서 구한 평균치 N을 이용한다. 1회의 측정만으로 얻어진 계수치 N은 평균치 부근의 수가 나올 확율이 높으므로 N ≒ M으로 근사시켜 계수치 N이 갖는 표준편차 σ를

$$\sigma \fallingdotseq \sqrt{N} \cdots\cdots (6)$$

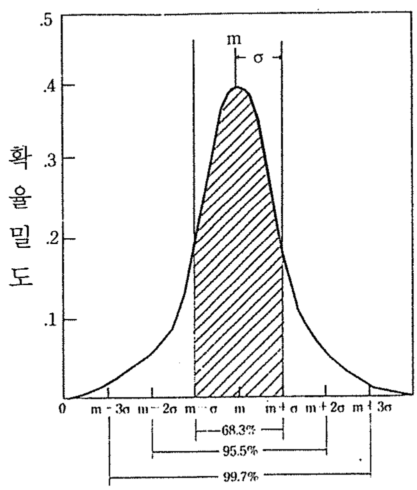



그림 2. 가우스 분포

로서 나타내는 것이 보통이다. 예를 들면 어느시간에 측정을 해서 100이라는 계수치를 얻었다면 $100 \pm \sqrt{100} = 100 \pm 10$으로 나타낸다. 이 의미는 가우스분포의 성질로 부터 그림 2와 같이 진계수치로 확실한 것의 약 68%가 100−10과 100+10의 사이에 있다는 것이다. 또한 측정회수를 많이 한 경우에는 측정치의 68%가 표준편차 범위내에 있다는 것을 의미한다.

### 다. 계수율의 통계오차

지금 t분을 측정해서 총계수 n을 얻으면 계수율 n(= N/t)cpm의 표준오차는 $\sqrt{N}/t$ 혹은 $\sqrt{n}/\sqrt{t}$로 된다. 이것은 측정을 t회 반복해서 평균을 하였을 때의 평균치 n의 표준편차 $\sqrt{n}/\sqrt{t}$로 생각해도 좋다.

어떤 방사선을 측정할 때 얻어진 계수율 $n_a$는 자연계수율 $n_b$를 포함하고 있으므로 정확한 계수율 $n_s$는 $n_s = n_a - n_b$로 구해진다. 이 경우의 $n_s$, $n_b$ 각각의 오차가 결합되었다. 지금 $n_a$는 $t_a$분간, $n_b$는 $t_b$분간 측정에서 얻어진다고 한다면 $n_s$의 표준편차 σ는 다음식으로 산출된다.

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{n_a}{t_a} + \frac{n_b}{t_b}} \cdots\cdots (7)$$

일반적으로 다수의 변수에 대해 어느 상수와 결합한 오차는 용이하게 구해진다. 지금 2개의 양 A, B에 대해서 각각의 표준편차를 a, b라 할때 더하기, 빼기, 곱하기, 나누기에 대한 오차 σ를 다음과 같이 나타낸다.

더하기와 빼기 $\sigma = \sqrt{a^2 + b^2} \cdots\cdots (8)$

곱하기 $\sigma = AB\sqrt{[\frac{a}{A}]^2 + [\frac{b}{B}]^2} \cdots\cdots (9)$

나누기 $\sigma = \frac{A}{B}\sqrt{[\frac{a}{A}]^2 + [\frac{b}{B}]^2} \cdots\cdots (10)$

(7)식은 $n_a$와 $n_b$의 차이의 오차로 부터 (8)식을 적용해야 하지만 방사선측정시의 계수율에 대해서는 포아슨분포를 따르므로 그 특유의 성질에 의해서(7)식이 유도된 것이다.