

Decaying Source 기법에 의한 GM 검출기의 불감시간 결정

Determination of Dead Time for a GM Counter by Decaying Source Method

이종희, 박창수, 김인중, 최희동

서울대학교
서울특별시 관악구 신림동 산56-1

요 약

GM 검출기의 계수율 조건에 따른 계수 특성을 조사하고 decaying source 기법을 이용하여 불감시간을 측정하였다. Decaying source로는 Au-198을 선택하였고, 금선(gold wire)을 중성자로 조사시켜 제작하였다. 계수율 측정은 선원-검출기간 거리를 달리하며 10 일 이상 수행하였다. 불감시간은 시간에 따른 계수율 측정 결과에 대해서 non-paralyzable 모델과 paralyzable 모델로부터 유도된 fitting 식을 적용하여 결정하였다.

Abstract

The counting characteristics of GM counter dependent on count rate condition was investigated and the dead time was measured by using the decaying source method. Au-198 was chosen as a decaying source and prepared by irradiating gold wire by a neutron beam. The count rate was measured at several source-to-detector distances for more than 10 days. The dead time was determined by fitting the measured count rate with fitting formulas derived from the non-paralyzable model and the paralyzable model.

1. 서 론

GM 검출기는 안정적인 동작 특성, 단순한 계통 구성 및 조작, 저렴한 가격 등으로 인해 환경 방사능 측정, survey meter로 널리 이용되고 있다. 일반적으로 GM 검출기는 검출기 자체에서의 불감시간이 100 ~ 400 μ sec로 상당히 크기 때문에 불감시간 보정이 필수적으로 요구되고, 또한 올바른 불감시간 보정법 선택이 무엇보다 중요하다.

GM 검출기의 불감시간 측정에는 two-source method, decaying source method, oscilloscope method 등이 가능하다[1]. Two-source method는 두 개의 선원에 대해 각각 개별적으로 측정된

계수율과 두 선원을 동시에 측정한 계수율을 이용하여 불감시간을 결정하는 방법으로서 방법이 간편하지만 측정시 선원의 위치 변화로 인한 오차가 발생할 수 있고 측정하는 계수율의 영역을 다양하게 변화시키기가 어려운 문제점이 있다. Oscilloscope method는 oscilloscope 화면에 보여지는 연속된 펄스의 최소 시간간격을 측정함으로써 불감시간을 결정하는 방법이다. 이 방법은 선원의 세기와 discrimination level을 변화시키면서 불감시간을 측정할 수 있으나 불감시간 결정에 관측자의 자의성이 반영될 가능성이 높으므로 신뢰성이 낮다. Decaying source method는 반감기가 정확히 알려진 선원을 고정된 위치에 두고 시간이 경과함에 따라 선원의 방사능이 감소하여 계수율이 감소하는 현상을 이용한 방법이다. 이 방법은 반감기가 적절히 짧은 선원이 필수적으로 요구되고 측정 시간이 오래 걸리게 된다. 그러나 다양한 계수율 영역에서 측정을 수행할 수 있기 때문에 two-source method나 oscilloscope method에 비해 보다 정확한 불감시간을 결정할 수 있다[2,3]. 본 연구에서는 계수율 변화에 따른 GM 검출기의 동작 특성을 조사하고 decaying source method를 적용하여 불감시간을 결정하였다.

2. 불감시간 결정 방법

GM 검출기의 불감시간 특성은 non-paralyzable 모델과 paralyzable 모델로 설명할 수 있다 [4-6]. Non-paralyzable 모델은 검출기 내에서 방사선이 상호작용을 일으켜 하나의 펄스가 생성된 후 고정된 시간 τ 동안 펄스가 생성되지 못하고 τ 가 지난 후에야 다시 펄스가 생성되어 계수가 이루어지는 불감시간 해석 모델이다. Paralyzable 모델은 검출기 내에서 일어나는 모든 방사선의 상호 작용에 대해 τ 만큼의 불감시간이 적용되어, 검출기가 불감되어 있는 시간동안 다른 상호 작용이 일어나면 검출기의 불감 상태가 다시 τ 만큼 연장되는 모델이다. Non-paralyzable 모델과 paralyzable 모델은 모두 검출기의 불감시간 특성에 대해 이론적으로 극단적인 해석으로 볼 수 있으나 불감시간 특성을 정성적인 측면과 정량적인 측면 모두에서 가장 단순하게 해석할 수 있다. 실제 검출기는 두 모델의 중간적인 특성을 가진다.

Non-paralyzable 모델과 paralyzable 모델에서의 observed count rate와 true count rate 사이의 관계는 각각 다음과 같다.

$$\text{(Non-paralyzable model)} \quad n = \frac{m}{1 - m\tau} \quad (1)$$

$$\text{(Paralyzable model)} \quad m = ne^{-n\tau} \quad (2)$$

여기서 m 은 observed count rate, n 은 true count rate, τ 는 불감시간이다.

Decaying source method는 반감기가 충분히 짧은 선원을 이용하여 선원의 방사능 감소에 따른 계수율 변화로부터 검출기의 불감시간을 측정하는 방법이다. 반감기가 짧은 선원의 측정에서 방사능 감소에 따른 true count rate는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$n(t) = n_0 e^{-\lambda t} + n_{BG} \quad (3)$$

여기서 n_0 는 최초 기준 시점에서의 true count rate, λ 는 붕괴상수, t 는 기준 시점으로부터 경과 시간, n_{BG} 는 백그라운드 계수율을 나타낸다. 불감시간 결정을 단순화시키려면 (3) 식에서 백그라운드 계수율을 무시하지만 백그라운드가 존재하는 상황이 보다 일반적이므로 본 연구에서는 백그라운드 계수율을 고려하여 불감시간을 결정하였다. (3) 식에 non-paralyzable 모델과 paralyzable 모델을 각각 적용하면

$$\text{(Non-paralyzable model)} \quad m(t) = \frac{n(t)}{1 + n(t)\tau} = \frac{n_0 e^{-\lambda t} + n_{BG}}{1 + (n_0 e^{-\lambda t} + n_{BG})\tau} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{(Paralyzable model)} \quad m(t) &= n(t) \exp(-n(t)\tau) \\ &= (n_0 e^{-\lambda t} + n_{BG}) \exp[-(n_0 e^{-\lambda t} + n_{BG})\tau] \end{aligned} \quad (5)$$

과 같이 되어 각 모델에 의해 시간 경과에 따른 observed count rate를 기술할 수 있다.

3. 측정 및 결과 분석

GM 검출기 계측 계통은 end window형 GM tube(ALOKA GP101), scaler(ALOKA TDC-103), digital timer(ALOKA T1-1B)를 이용하여 구성하였으며 oscilloscope로 펄스 형태를 관찰하였다. 검출기와 선원은 원통형 납차폐체 내부에 배치하였다. 납차폐체는 직경과 길이가 각각 25 cm, 32 cm이고 두께가 5 cm이며, GM tube를 고정시킬 수 있도록 상단부에 직경 5 cm, 길이 5 cm인 홈이 가공되어 있다. 차폐체 내부에는 검출기와 선원간의 거리를 조정할 수 있도록 검출기로부터 3 cm가 되는 지점부터 1 cm 단위로 홈이 설치되어 선원을 지지하는 플라스틱판을 고정할 수 있다. 측정에 사용된 선원은 wire를 나선형으로 감은 형태이며 Teflon sheet에 접착된 상태로 지지용 플라스틱판에 고정시켰다. Scaler의 discrimination level은 200 mV로 설정하였다.

Decaying source로는 Au-198 선원을 선택하였다. 이 선원은 Au-197을 중성자에 조사시켜 제작하며 Au-197의 열중성자 흡수 단면적이 98.7 barn으로서 높은 편이고, 반감기가 2.695 day이므로 충분한 방사능 확보 및 적당한 반감기 조건을 모두 충족한다. Au-198 이외에 decaying source로서 Mn-56을 고려할 수 있다. Mn-56은 반감기가 2.578 h로서 Au-198과 비교할 때 훨씬 짧기 때문에 충분한 방사능이 확보된다면 측정 시간을 대폭 단축할 수 있다. 그러나 Mn-55의 열중성자에 대한 흡수단면적이 13.3 barn이기 때문에 장시간의 중성자 조사가 요구된다.

금선에 대한 중성자 조사는 한국원자력연구소의 하나로에 가동중인 SNU-KAERI PGAA 장치 [7]의 시료 위치에서 수행되었다. 사용된 금선은 직경이 0.1 mm, 길이는 4 cm이며 나선형으로 변형시킨 후 Teflon sheet에 접착하여 7.9×10^7 n/cm²s의 열중성자속에서 60 시간 동안 조사시켰다. 방사화한 금선의 방사능은 효율이 검증된 HPGe 반도체 검출기[8]를 이용하여 측정하였다. 조사가

완료된 총 5 개의 금선 중에서 4 개를 묶어 방사능이 194.25 ± 8.14 kBq인 선원을 만들고 나머지 1 개의 선원(42.18 ± 0.37 kBq)은 그대로 사용하였다.

GM 검출기 불감시간 측정에 앞서 실험 환경에 의한 백그라운드 계수율을 측정하였다. 백그라운드 계수율은 선원이 없는 조건에서 3 일 동안 측정하였다. 백그라운드 계수율은 평균 14.58 ± 0.73 cpm이고 표준편차는 2.36%로서 3 일 동안 거의 일정하게 유지되었다.

불감시간 측정은 두 개 선원에 대해 선원-검출기간 거리 3 cm, 9 cm, 20 cm에서 수행하였다. 194.25 kBq 선원에 대해 9 cm, 20 cm 42.18 kBq 선원에 대해 3 cm, 9 cm로 각각 설정한 상태에서 시간에 따른 계수율 변화를 측정한 결과는 그림 1과 같다. 그림에서 (a), (b)는 194.25 kBq, (c), (d)는 42.18 kBq 선원에 대한 측정 결과이다. 194.25 kBq 선원을 9 cm 위치에서 측정 시작일로부터 약 5 일간 측정한 실험에서는 검출기로부터 펄스는 생성되었으나 계속된 이온화에 의해 생성된 양의 공간 전하로 인하여 전자의 electric field가 감쇄되어 펄스의 높이가 검출기의 discrimination level까지 발달하지 못하여 계수가 이루어지지 않았다. 펄스 높이는 시간이 경과하여 방사능이 감소할수록 점차 증가하여 scaler에 기록되기 시작하였다. 그림 (a), (c)에서 약 5 일 이후부터는 펄스가 discrimination level을 넘어서기 시작하면서 계수율이 증가하고 있다. 이와 같이 계수율이 시간에 따라 감소하지 않고 요동이 심한 경향은 펄스가 충분히 발달하지 못함으로 인하여 일부의 펄스만이 discrimination level을 넘어 계수되고, discrimination level을 넘어서는 비율이 시간이 경과하면서 증가하는 상태에 있기 때문이다. 그림 1의 (b), (d) 앞 부분에서도 측정 계수율의 요동 현상이 나타나고 있다. 그림 1(b), (d)의 5일 이후 영역에서는 모든 펄스가 discrimination level보다 높은 수준으로 충분히 발달하기 때문에 시간 경과에 따라 계수율이 부드럽게 감소하고 있다.

불감시간은 (4), (5) 식을 42.18 kBq 선원을 20 cm에서 측정한 결과에 적용하여 fitting을 통해 결정하였다. 이 측정 결과를 선택한 이유는 다른 측정 조건과 같은 계수율 요동 현상이 나타나지 않았기 때문이다. Fitting에서 n_0 , τ 는 fitting parameter로 설정하고 n_{BG} 는 3일 동안 측정한 평균 값을 사용하였다. Fitting 결과는 그림 2와 같다. Fitting으로 결정된 parameter들은 paralyzable 모델인 경우 n_0 가 111.13 ± 4.01 cpm, τ 가 370 ± 280 μ sec이고, non-paralyzable 모델인 경우 n_0 가 111.30 ± 4.16 cpm, τ 가 390 ± 310 μ sec였다. 불감시간은 paralyzable 모델인 경우나 non-paralyzable 모델인 경우의 결과가 5.1% 이내로 거의 일치하였고 osilloscope를 이용하여 결정한 불감시간 370 μ sec와도 거의 일치하였다. 불감시간의 오차가 75%로 매우 큰 이유는 불감시간을 결정한 영역의 계수율이 낮아서 (4), (5)식에서 불감시간 τ 의 중요도가 미약하기 때문이다. 불감시간의 오차를 현 수준보다 줄이려면 discrimination level을 보다 낮게 설정함으로써 측정 계수율의 영역을 보다 확장해야 할 것이다.

4. 결론

Decaying source method를 이용하여 GM 검출기의 불감시간을 측정하였다. Non-paralyzable

모델과 paralyzable 모델을 이용하여 observed count rate의 시간에 따른 감소 현상을 기술하고, 이를 측정 결과에 적용하여 fitting을 통해 불감시간을 결정하였다. Fitting 결과 불감시간은 paralyzable 모델의 경우 $370 \pm 280 \mu \text{sec}$, non-paralyzable 모델인 경우는 $390 \pm 310 \mu \text{sec}$ 이었다. 향후 discrimination level을 보다 낮게 설정하여 측정 계수율을 현재보다 훨씬 높은 영역까지 확장함으로써 불감시간의 오차를 줄일 예정이다.

참고문헌

1. G.F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement", pp. 119 ~ 128, John Wiley & Sons, New York, 2000.
2. J.W. Müller, Nucl. Instr. and Meth. 117 (1974) 401.
3. R.P. Gardner and L. Liu, Appl. Radiat. Isot. 48 (1997) 1605.
4. R.P. Gardner and S.H. Lee, Appl. Radiat. Isot. 53 (2000) 731.
5. R.D. Evans, "The Atomic Nucleus", pp.785 ~ 818, McGraw-Hill, New York, 1955.
6. J.W. Müller, Nucl. Instr. and Meth. 112 (1973) 47.
7. S.H. Byun, G.M. Sun and H.D. Choi, Nucl. Instr. and Meth. A 487 (2002) 521.
8. C.S. Kim, G.M. Sun, J.Y. Lee, S.H. Byun, M.S. Kim, Y.D. Bae and H.D. Choi, Sae Mulli 37 (1997) 399.

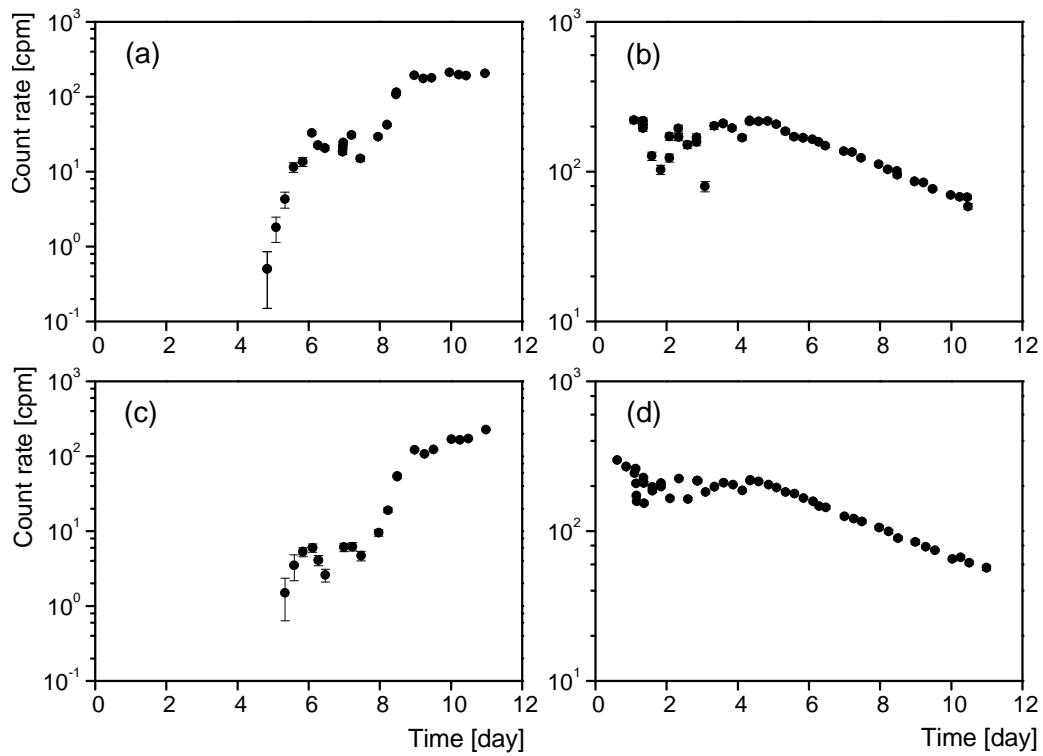


Fig. 1. Observed count rate of two Au-198 sources as a function of time. (a) 194.25 kBq at 9 cm, (b) 194.25 kBq at 20 cm, (c) 42.18 kBq at 3 cm, (d) 42.18 kBq at 9 cm from the detector end window.

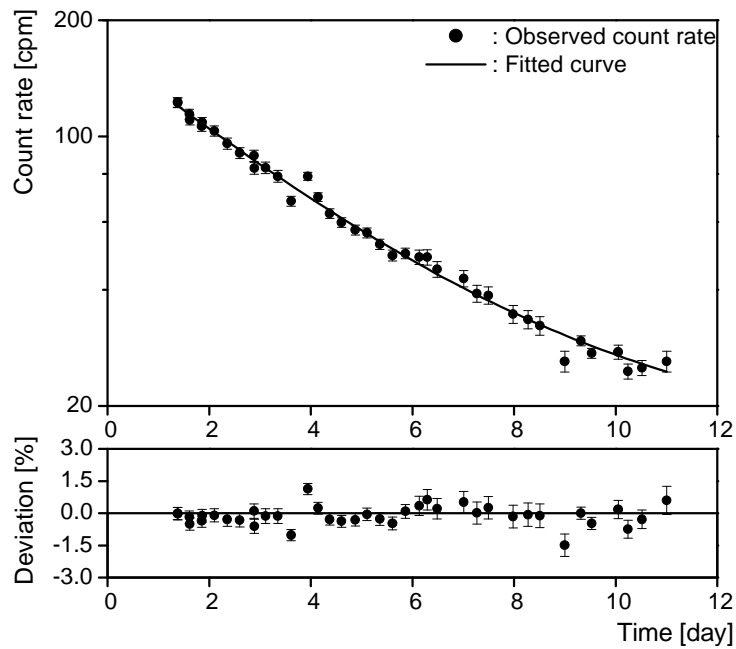


Fig. 2. Fitting result of the observed count rate for 42.18 kBq source at 20 cm.