

공기커마울을 이용한 ¹³⁷Cs의 반감기 측정

서장수 · 하석호* · 조문형**
원자력교육원, 한국표준과학연구원, 원자력발전기술원
E-mail: sjssjs@khnp.co.kr

중심어 (keyword) : 반감기, 공기커마울, 감마선 조사장치, 선형회귀

서론

방사성동위원소의 반감기는 방사선계측장비의 교정시 제조사의 방사능(선원 인증서나 교정성적서)을 현재 방사능으로 붕괴보정하여 기준값을 정하는데 사용되므로 정확한 데이터가 필요하다.

핵종별 반감기는 국가 표준기관인 미국의 NIST, 독일의 PTB 또는 국제도량형국(BIPM)에서 주기적으로 측정하며 측정시에는 일반적으로 4π 가압형 이온전리함을 사용한다.

단(短) 반감기 핵종의 경우 단기간 동안 붕괴되는 방사능의 변화량 많기 때문에 비교적 정확한 반감기를 얻을 수 있으나 ¹³⁷Cs(반감기 : 30.17년) 같은 장(長) 반감기 핵종은 정확한 측정을 위한 데이터를 얻는데 많은 시간이 필요하다.

본 논문에서는 장 반감기 핵종인 ¹³⁷Cs 선원의 반감기를 감마선조사장치의 교정성적서에 명시된 공기커마울의 변화량을 이용하여 산출하고 그 결과를 미국표준기관인 NIST에서 제시하는 결과와 비교하였다.

실험방법

감마선 조사장치에서 선원의 경과 일수에 따른 공기커마울은 다음 식으로 표현 된다.

$$K = K_0 \cdot e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(1)$$

여기서

K_0 : 교정시점에서의 공기커마울
 λ : ¹³⁷Cs의 붕괴상수
 t : 교정일로부터 경과일(day)

(1) 식의 양변에 자연로그를 취하면 다음과 같이 변형된다.

$$\ln(K) = \ln(K_0) - \lambda t \dots\dots\dots(2)$$

(2) 식은 경과시간 t 의 변화에 따른 $\ln(K)$ 의 변화량을 나타내므로 기울기가 $-\lambda$, y 절편이 $\ln(K_0)$ 인 일차함수로 표현된다.

붕괴상수 $\lambda = \ln 2/t_{1/2}$ 이므로 기울기 $-\lambda$ 를 통해 ¹³⁷Cs 선원의 반감기를 산출할 수 있다.

이 논문에서는 ¹³⁷Cs(2000 Ci)선원을 내장한 감마선 조사장치 교정성적서(2003년 7월 ~ 2008년 12월)의 350 cm 거리에서의 공기커마울로 반감기를 산출하였다.

<표 1> 감마선 조사장치 교정결과

교정일	공기커마울 (Gy/h)
2003년 7월	0.376
2004년 7월	0.366
2005년 8월	0.355
2007년 12월	0.356
2008년 12월	0.337

<표 1>의 자료를 식(2)에 대입하여 경과시간에 따른 공기커마울의 변화를 그래프로 도식화 하였으며 이를 선형 회귀하여 다음의 식으로 붕괴상수인 기울기

를 구하였다.

$$\lambda(\text{기울기}) = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(\ln(k_i) - \ln(\bar{k}))}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad \dots(3)$$

또한, 경과 시간과 공기커마울 사이의 밀접도를 측정하기 위하여 상관계수를 다음 식으로 산출한 후 선형 회귀식을 구하였다.

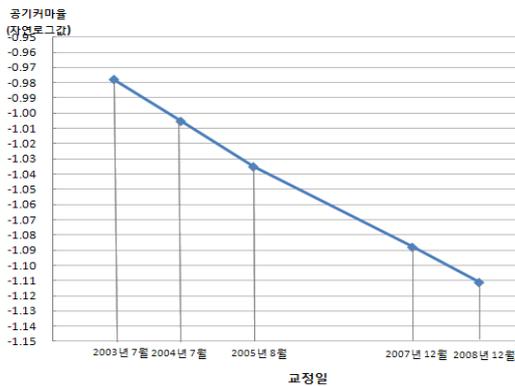
$$\rho = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad \dots\dots\dots(4)$$

σ_{xy} : x, y의 공분산

σ_x, σ_y : x, y 각각의 분산

결과 및 고찰

다음 그래프는 감마선조사장치의 연도별 공기커마울 변화를 선형회귀한 결과이다.



<그림 1> 선형회귀 그래프(350 cm)

이 그래프의 선형식을 구하기 위하여 기울기와 y절편을 구한 결과 다음과 같은 관계식으로 표현 되었다.

$$y = - 0.000063t - 0.894$$

여기서, 기울기(붕괴상수) $\lambda = 0.000063$ 이므로 실험을 통해 구하고자 하는 반감기는 $\ln(2)/\lambda = 11017.5$ 일 (30.18년)으로 산출되었다.

<그림 1>에서 선형회귀선을 중심으로 흩어진 정도

를 나타내는 상관계수 값이 -0.99로 산출되어 경과시간과 공기커마울 사이의 밀접도가 매우 높음을 알 수 있었으며 산출된 반감기는 NIST에서 제시한 반감기 (11018.3일)와 거의 차이가 없음을 확인 하였다.

결론

이 논문에서는 ^{137}Cs 선원의 반감기를 구하기 위하여 감마선 조사장치 교정성적서의 공기커마울을 이용하였다.

NIST에서는 ^{137}Cs 선원의 반감기를 11018.3일 \pm 9.5일로 제시하고 있으며 감마선 조사장치의 교정성적서를 이용하여 산출된 반감기는 11017.5일로 불확도 범위 안에 있으므로 이 논문에서 사용한 방법이 유효함을 알 수 있었다.

교정성적서의 분석을 통해 데이터 취득에 오랜 시간이 걸리는 장 반감기 핵종 ^{137}Cs 의 반감기를 구할 있었으며 동일한 방법을 이용하면 감마선 조사장치의 내장 선원이 ^{137}Cs 이 아닌 경우라도 반감기를 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. James E. Martin, Physics for Radiation Protection, 126-128
2. NIST, <http://www.nist.gov/physlab/data/half-life-ascii.cfm>