

스펙트르측정에 기초한 γ 선의 흡수선량평가 방법에 대한 연구

윤철송, 리철만

원자력공업이 발전하고 방사성동위원소의 리용범위가 확대됨에 따라 γ 선의 흡수선량을 정확히 평가하는것은 매우 중요한 문제로 나서고있다.

현재 제일 많이 리용되고있는 γ 선용검출기는 NaI(Tl)섬광검출기이다. NaI(Tl)섬광검출기는 γ 선에 대한 감도가 매우 높은것으로 하여 스펙트르분석기와 선량계용검출기로 널리 쓰인다. 그러나 NaI(Tl)섬광검출기는 γ 선의 에너지에 따라 기록효율이 심히 차이나는것으로 하여 선량측정에서 일련의 문제점들이 나신다. NaI(Tl)섬광검출기의 에너지에 따르는 흡수선량감도의 차이를 해결하기 위한 방법으로서 금속함차폐법과 회로보상에 의한 방법 등이 제기되었으나 에너지의 전구간에서 선량감도의 차이를 완전히 해결하지 못하였다.

현재 세계적으로 스펙트르를 측정하여 흡수선량을 평가하기 위한 연구사업들이 많이 진행되고있으나 측정방법의 일반적인 원리만 밝히고 구체적인 자료는 밝히지 않고있다.[1, 2]

우리는 한소편컴퓨터기술과 컴퓨터모의기술이 높은 수준으로 발전한 현실의 요구에 맞게 스펙트르측정에 의한 흡수선량평가방법을 제기하고 그에 대한 연구를 진행하였다.

1. 스펙트르측정에 기초한 흡수선량평가방법에 대한 이론적고찰

스펙트르에 의한 흡수선량평가는 주로 두가지 방향으로 진행되는데 하나는 진폭스펙트르를 분석하지 않고 직접 스펙트르-선량변환연산자를 리용하여 평가하는 방법($G(E)$ 함수방법이라고 한다.)이고 다른 하나는 진폭스펙트르를 분석하여 입사에너지와 흐름을 결정한 다음 선량을 평가하는 방법(입사흐름평가에 의한 방법)이다.

$G(E)$ 함수방법 에너지가 E_0 인 γ 량자흐름이 검출기에 수직으로 입사하는 경우 흐름의 세기를 단위세기로 보고 검출기에 기록된 스펙트르밀도를 $n(E, E_0)$ 으로, 흡수선량을 $D(E_0)$ 라고 하면 다음과 같은 식이 얻어진다.

$$D(E_0) = \int_0^{\infty} n(E, E_0) \cdot G(E) dE \quad (1)$$

이와 같이 정의된 $G(E)$ 함수를 스펙트르-선량변환연산자라고 한다.

E 통로에 대한 기록수는 다음과 같이 표시된다.

$$N(E) = \sum_{j=1}^n \phi(E_j) n(E, E_j) \quad (2)$$

여기서 $\phi(E_j)$ 는 에너지가 E_j 인 γ 량자흐름, $N(E)$ 는 통로의 스펙트르밀도이다.

식 (1)로부터

$$D(E_j) = \int_0^{\infty} n(E, E_j) \cdot G(E) dE \quad (3)$$

식 (2)와 (3)으로부터 다음식이 얻어진다.

$$\begin{aligned} D(E) &= \sum_{j=1}^n \phi(E_j) D(E_j) = \sum_{j=1}^n \int_0^{\infty} \phi(E_j) \cdot n(E, E_j) \cdot G(E) dE = \\ &= \int_0^{\infty} \sum_{j=1}^n \phi(E_j) \cdot n(E, E_j) G(E) dE = \int_0^{\infty} N(E) \cdot G(E) dE \end{aligned}$$

입사흐름평가에 의한 방법 진폭스펙트르를 분석하여 입사 γ 선의 에너지와 흐름을 결정하면 다음의 식에 의하여 흡수선량률을 계산할수 있다.

$$\dot{D} = \mu_{a,m} I_{\gamma} = \mu_{a,m} \sum_j E_j \phi(E_j) \quad (4)$$

여기서 \dot{D} 는 흡수선량률, $\mu_{a,m}$ 은 질량흡수계수, E_j 는 입사한 γ 량자의 에너지, $\phi(E_j)$ 는 에너지가 E_j 인 γ 량자들의 흐름의 세기이다.

이 방법으로 입사 γ 선의 에너지와 흐름을 정확히 결정하면 비교적 정확도가 높은 흡수선량을 결정할수 있다. 그러나 스펙트르를 분석하여야 하므로 측정시간이 길고 컴퓨터를 리용하지 않고 흡수선량을 직접 측정할수 없다는 문제점이 있다.

이 방법을 리용하자면 정확도가 높고 속도가 빠르며 비교적 간단한 스펙트르분석프로그램을 개발하는것이 중요하므로 여기서는 입사흐름평가에 의한 흡수선량측정방법에 대한 구체적인 설명은 략하고 $G(E)$ 함수방법에 대하여 전개하였다.

2. $G(E)$ 함수계산, $G(E)$ 함수방법에 의한 흡수선량측정

$G(E)$ 함수계산 $G(E)$ 함수는 검출기의 특성과 관련된다. 즉 검출기의 종류, 재질, 형태, 크기에 관계된다. 그러므로 그 어떤 검출기에 대해서도 $G(E)$ 함수를 결정할수 있는 방법론을 확립하는것이 중요하다. 그리고 $G(E)$ 함수의 계산결과가 선량측정의 정확도에 결정적영향을 주는것만큼 $G(E)$ 함수를 보다 정확히 측정하기 위한 방법론을 세워야 한다.

$G(E)$ 함수를 결정하려면 같은 실험조건에서 서로 다른 단색에너지원천에 대한 응답 함수와 선량측정자료가 요구된다. 그러나 원천의 종류가 제한되어있는것으로 하여 실험자료를 얻는것은 매우 어려운 문제로 된다. 그러므로 MCNP5A모의프로그램을 리용하여 γ 선에 대한 NaI(Tl)섬광검출기응답함수와 흡수선량을 평가한 다음 그 자료를 리용하여 $G(E)$ 함수를 결정하였다. 그림 1에서는 직경과 높이가 각각 7.62cm인 원기둥모양의 NaI(Tl)섬광검출기의 $G(E)$ 함수를 보여주었다.

$G(E)$ 함수방법에 흡수선량측정 $G(E)$ 함수의 정확도는 그것을 리용하여 결정한 흡수선량의 정확도를 놓고 평가할수 있다.

2개의 에너지를 방출하는 ^{60}Co 원천의 γ 선을 기록한 스펙트르(그림 2)를 놓고 흡수선량과 정확도를 평가하였다. 흡수선량은 다음의 식에 의하여 계산된다.

$$D = \sum_{k=0}^{256} N_k G_k \quad (5)$$

여기서 N_k 는 k 통로의 기록수, G_k 는 그 통로의 에너지에 해당하는 $G(E)$ 함수값이다.

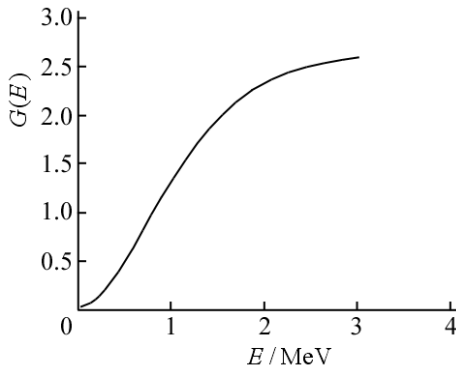


그림 1. MCNP5A모의프로그램자료에 기초하여 결정한 $G(E)$ 함수

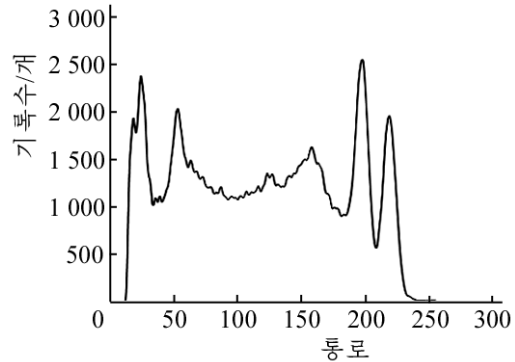


그림 2. 통로에 따르는 γ 스펙트럼
(원천 ^{60}Co)

그림 2에서 본 스펙트럼의 N_k , G_k 값들을 식 (5)에 의하여 계산하면 흡수선량은 0.025Gy이다.

스펙트럼미터에서 통로당 평균기록수를 1 500이라고 보면 오차는 다음과 같다.

$$\delta(N) = 1/\sqrt{N} = 1/\sqrt{1\,500} = 0.026$$

즉 2.6%이다.

맺 는 말

본문에서는 γ 선의 스펙트럼-선량변환연산자를 정확히 결정하기 위한 방법론을 제시하고 이 방법으로 결정한 흡수선량의 정확도를 평가하였다.

참 고 문 헌

- [1] Young-Yong Ji; Radiation Physics and Chemistry, 106, 320, 2015.
- [2] Young-Yong Ji; Radiation Physics and Chemistry, 119, 90, 2016.

주체106(2017)년 7월 5일 원고접수

Method of Absorbed Dose Evaluation of Gamma Rays Based on Spectrometry

Yun Chol Song, Ri Chol Man

In the paper the principle and the method of absorbed dose evaluation of gamma rays based on spectrometry were systematized.

And the methods of $G(E)$ function determination based on Monte-Carlo simulate data were suggested and by evaluating absorbed dose and the accuracy using the spectrum of NaI(Tl) scintillator detector, the possibility of $G(E)$ function determination based on simulate data were confirmed.

Key words: spectrum-dose conversion operator, absorbed dose, scintillator detector