

## 감마선 조사된 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 의 열자극에 관한 수치해석적인 분석

김태규, 이병용\*, 김성규\*\*, 박영우+, 추성실\*\*

진주교육대학교 과학교육과

울산대학교 의과대학 치료방사선과학교실\*

영남대학교 의과대학 치료방사선과학교실\*\*

연세대학교 원주의과대학 기초과학교실+

연세대학교 의과대학 치료방사선과학교실\*\*

### 초 록

열자극 과정의 수치해석적인 방법을 이용하여 열자극 세기곡선의 kinetic order, 활성화 에너지, 이탈 진동수 그리고 초기 트랩 밀도를 구하기 위하여 혼합된 열자극 세기곡선으로 분해하였고, 비선형 최소 자승법으로 분해된 열자극 곡선 세기와 측정된 세기의 차이를 최소화시켰다. 감마선 선량계로 사용되고 있는  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 에 감마선을 조사시킨 후, 300K~600 K의 온도 구간에서 측정된  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 의 열자극 발광 세기곡선은 정점 온도가 381K, 415K, 441K, 460K, 488K 그리고 506K인 6개의 독립된 열자극 발광세기곡선으로 분해되었으며, 381 K의 정점온도를 갖는 분해된 열자극 발광 세기곡선의 kinetic order, 활성화 에너지 그리고 이탈 진동수는 각각 1, 1.12eV 그리고  $6.79 \times 10^{12} \text{sec}^{-1}$ 로써, 이 결과는 다른 측정법에 의한 값과 유사하였다.

### I. 서 론

열자극 발광(Thermally stimulated luminescence : Thermoluminescence : TL), 열자극 전자방출(Thermally Stimulated Exo-Electron : TSEE), 열자극 전류(Thermally Stimulated Current : TSC) 등과 같은 열자극 과정은 물리, 화학적 성질을 측정하는데 또한 방사선 선량계로서 널리 응용되고 있다.<sup>1)</sup> 이 과정은 시료의 온도를 증가시키기에 따라 다양한 세기의 량이 측정되는 공통점을 가지며, 온도에 따른 열자극 세기의 분포도를 열자극 세기곡선이라 한다. 응용 목적에 따라 측정된 열자극 세기곡선으로부터 얻을 수 있는 물리, 화학적인 량이 결정된다. 그리고 방사선 선량계로서 응용되기 위해서는 방사선 조사에 의해 생성된 열자극 발광 물질 내에 형성된 초기 트랩 밀도와 방사선의 흡수선량이 중요한 량이며, 열자극 전류와 전자방출에서는 감마선, 자외선 또는 이온조사 선량과 시료 내의 운반자의 이동도와 전자방출 세기가 중요한 요소이다. 이러한 열자극 과정의 물리, 화학적인 량을 얻기 위해서는 혼합된 열자극 세기곡선을 독립된 열자극 세기곡선으로 분해하는 과정이 필수적이다.

복잡한 열자극 세기곡선의 분해에 대한 다양한 방법이 연구되고 있지만 대부분의 연구는 독립된 곡선을 가지는 여러 개의 열자극 세기곡선과 그 곡선에 해당하는 변수값을 구하는데 목적을 두고 있다.<sup>2,3)</sup> 열처리 법에 의한 열자극 세기곡선 분해법은 반복적인 측정이 수반되며, 열처리 온도에 따라서 열자극 세기곡선의 변수값들이 다양하게 변하는 단점이 있다. 열자극 과정의 물리적인 기술은 측정된 곡선에서 얻을 수 있는 정점 온도, 정점 세기, 곡선 형태 등의 량보다 더 많은 변수로 구성됨으로 복잡한 열자극 세기곡선의 분해 과정은 수월하지

않다. 본 연구에서는 열자극 과정에 대한 수학적 해석으로부터 열자극 과정의 변수를 구하고, 수치해석적인 방법을 이용하여 열자극 세기곡선의 합성과 분해를 실시하고, 감마선이 조사된  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 의 열자극 발광 세기곡선의 분해와 분해된 곡선의 변수를 구한다.

## II. 이론적 배경

열자극 발광, 열자극 전자방출, 열자극 전류 등의 다양한 열자극 과정은 미시적으로 각각 다른 과정에 의존하지만, 온도에 따른 열자극 방출 세기는 공통적으로 식(1)과 같이 주어진다.<sup>4, 5)</sup>

$$I(t) = -\frac{dn}{dt} = s'n^p(t) \exp\left(\frac{-E}{kT}\right) \quad (1)$$

여기서  $I$ 는 열자극 과정의 세기,  $n$ 은 구속된 전자 농도,  $T$ 는 절대 온도,  $k$ 는 볼츠만 상수,  $E$ 는 활성화 에너지,  $s$ 는 이탈진동수,  $p$ 는 kinetic order이다. 식(1)의 해는

$$n(t) = n_0(1 + (p-1)s\int_0^t e^{-E/kT(t')} dt')^{-1/(p-1)} \quad (2)$$

로 주어지며, 여기서  $s$ 는  $s'n_0^{p-1}$ 이다. 입자의 방출 비율, 즉 열자극 세기는

$$I(t) = n_0 s e^{-E/kT} (1 + (p-1)s\int_0^t e^{-E/kT'} dt')^{-p/(p-1)} \quad (3)$$

이다. 재결합이 주로 일어나는 1차 kinetic order ( $p=1$ )인 경우, 열자극 세기는

$$I(t) = n_0 s e^{-E/kT} \exp(-s\int_0^t e^{-E/kT'} dt') \quad (4)$$

이고, retrapping이 주로 일어나는 2차 kinetic order ( $p=2$ )인 경우,

$$I(t) = n_0 s e^{-E/kT} (1 + s\int_0^t e^{-E/kT'} dt')^{-2} \quad (5)$$

의 열자극 세기를 갖는다. 단순한 온도 증가 분포도를 가지는 경우, 온도 증가에 따른 입자방출 비율의 증가와 트랩의 상태 밀도의 감소로 말미암아 열자극의 세기 분포 곡선의 봉우리가 형성되며 트랩의 초기 상태 밀도, 활성화 에너지, 이탈 진동수에 의해서 열자극 세기곡선이 결정된다. 식(3)을 시간  $t$ 로 미분하여 0으로 놓으면,

$$1 + (p-1)s\int_0^{t_m} e^{-E/kT'} dt' = \frac{pskT_m^2}{\beta m E} e^{-E/kT_m} \quad (6)$$

의 관계식이 구해지며, 여기서  $\beta$ 는 온도 상승률이다. 식(6)을 식(3)에 대입하면, 열자극 곡선의 최대 세기는 다음과 같이 주어진다.

$$I_m = I(t_m) = n s e^{-E/kT_m} \left( \frac{\beta m}{pskT_m^2} e^{E/kT_m} \right)^{p/(p-1)} \quad (7)$$

FWHM(full width at half maximum)으로 나타내는 열자극 세기곡선의 폭과 봉우리의 위치는 온도 분포도에 의존하며 일반적으로  $T(t) = T_0 + \beta t$ 인 선형적인 온도 분포도와  $1/T(t) = (1/T_0$

-bt)인 쌍곡선적인 온도 분포도가 응용된다. 여기서  $T_0$ 는 초기 온도,  $\beta$ 는 온도 상승률, b는 온도 상승률을 결정하는 계수이다. 쌍곡선적인 온도 분포도는 식(3)의 적분항을 해석적으로 구할 수 있는 강점이 있는 반면, 실제 시료의 온도 제어에 어려움이 따른다. 시료의 온도 상승이 선형적인 경우, 식(3)의 적분항은 다음과 같이 근사적으로 계산된다.

$$\begin{aligned} \int_0^t e^{-E/kT} dt &= \frac{E}{\beta k} \int_{E/kT}^{E/kT_0} e^{-u} \frac{1}{u^2} du \\ &= \frac{E}{\beta k} \int_{E/kT}^{\infty} e^{-u} \frac{1}{u^2} du \\ &= \frac{kT^2}{\beta E} e^{-E/kT} f\left(\frac{E}{kT}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } f(E/kT) &= (E/kT)^2 e^{E/kT} \int_{E/kT}^{\infty} e^{-u} \frac{1}{u^2} du \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(n+1)!}{(E/kT)^n} \end{aligned} \quad (8)$$

이다. 식(6)의 적분항은 위의 근사식에 의해

$$\frac{\beta E}{kT_m^2} = se^{-E/kT_m} [p - g_m(p-1)] \quad (9)$$

로 구해지며, 여기서  $g_m = g(E/kT_m)$ 이다. 최대 열자극 세기를 갖는 식(7)에 식(9)를 대입하면, 식(7)은

$$I_m = n_0 \frac{\beta E}{kT_m^2} \frac{[1 - g_m((p-1)/p)]^{p/(p-1)}}{p - g_m(p-1)} \quad (10)$$

로 변형된다. 쌍곡선적인 온도 분포도인 경우, 식(3)의 적분항은

$$\int_0^t e^{-E/kT} dt = \frac{k}{bE} (e^{-E/kT} - e^{-E/kT_0}) \quad (11)$$

으로 계산되어지며  $e^{-E/kT_0} \ll e^{-E/kT}$ 이면, 식(11)은

$$\int_0^t e^{-E/kT} dt = \frac{k}{bE} e^{-E/kT} \quad (12)$$

으로 구해진다. 식(12)를 식(6)의 적분항에 대입하면, 다음의 관계식과

$$\frac{bE}{k} = se^{-E/kT_m} \quad (13)$$

최대 열자극 세기에서의 쌍곡선적인 온도 상승률과 선형적인 온도 상승률의 관계식

$$\beta_m = bT_m^2 \quad (14)$$

이 유도된다. 쌍곡선적인 온도 분포도를 갖는 경우, 식(13), (14)이 대입된 최대 열자극 세기 식(7)은  $I_m = (n_0 b E/k) p^{-p/(p-1)}$  주어지고, 식(3)의 적분항에 식(12), (13)을 대입하면

$$\begin{aligned} \int_0^t e^{-E/kT'} dt' &= \frac{k}{bE} e^{-E/kT} \\ &= \frac{k}{bE} e^{-E/kT_m} e^{(bE/k)(t-t_m)} \\ &= \frac{1}{s} e^{(bE/k)(t-t_m)} \end{aligned} \quad (15)$$

로 주어지므로, 식(3)은

$$\begin{aligned} I(t) &= n_0 \frac{bE}{k} e^{(bE/k)(t-t_m)} [1 + (p-1) e^{(bE/k)(t-t_m)}]^{-p/(p-1)} \\ &= I_m e^{(bE/k)(t-t_m)} \left( \frac{1 + (p-1) e^{(bE/k)(t-t_m)}}{p} \right)^{-p/(p-1)} \end{aligned} \quad (16)$$

로 구해지므로  $t_m$ ,  $I_m$ ,  $p$ 와  $b$ 가 주어지면,  $E$ 에 의해 곡선의 폭이 결정됨을 알 수 있다. 열자극 최대 세기에 대한 비율  $\gamma$ 에 해당하는 곡선 폭을 구하기 위해,  $I(t_i) = I(t_R) = \gamma I_m$ 에 해당하는  $t_i$ ,  $t_R$ ,  $\gamma$ 를 도입하고,

$$z_i = z(t_i) = e^{(bE/k)(t_i-t_m)} \quad (17)$$

$$z_R = z(t_R) = e^{(bE/k)(t_R-t_m)} \quad (18)$$

로 놓으면, 봉우리의 좌측, 우측 반폭치는 각각

$$t_m - t_i = -(k/bE) \ln z_i \quad (19)$$

$$t_R - t_m = (k/bE) \ln z_R \quad (20)$$

로 주어진다. 식(19), (20)의 비율로부터 kinetic order가 결정되고, 활성화 에너지  $E$ 는

$$E = \frac{kT_m^2}{\beta_m} \left( \frac{\ln z_i(\gamma)}{t_m - t_i} \right) = \frac{kT_m^2}{\beta_m} \left( \frac{\ln z_R(\gamma)}{t_R - t_m} \right) \quad (21)$$

로 주어진다. 열자극 세기곡선은 초기 트랩의 밀도, 활성화 에너지와 이탈 진동수에 대하여 비선형적인 함수이므로 식(21)의  $z_i$ ,  $z_R$ 은 반복적인 방법에 의해서 결정된다. 식(17), (18)을 식(16)에 대입하면

$$\left( \frac{1 + (p-1)z}{p} \right)^{p/(p-1)} = \frac{z}{\gamma} \quad (22)$$

로 되어, 식(21)의 변수인  $z_i(z_R)$ 는 아래와 같이 반복적인 계산에 의해 구해진다.

$$Z_{new} = \frac{p(z_{old}/\gamma)^{(p-1)/p} - 1}{p-1} \quad (23)$$

식(21)의 활성화 에너지가 결정되면, 식(13)으로부터 이탈 진동수  $s$ 가

$$s = (\beta_m E / kT_m^2) e^{E/kT_m} \quad (24)$$

에 의해 결정되고 초기 트랩 밀도  $n_0$ 는 식(10)에 식(21)의 활성화 에너지를 대입함으로써 아래와 같이 구해진다.

$$n_0 = (kT_m^2 / \beta_m E) I_m [p - g_m(p-1)] [1 - g_m((p-1)/p)]^{-p/(p-1)} \quad (25)$$

이상으로 측정된 열자극 세기곡선에서 얻은 kinetic order, 최대 열자극 세기, 정점온도로부터 구한 활성화 에너지, 이탈 진동수, 초기 트랩 밀도를 식(2)의 이론적인 열자극 세기분포도와 측정된 열자극 세기 분포도의 차이를 최소화시키기 위해서 비선형 최소 자승법을 사용한다.

### III. 응용

#### 1. 열자극 곡선의 합성과 분해

2장에서 언급한 수치해석적인 방법을 이용하여 kinetic order, 활성화 에너지, 온도상승율, 이탈진동수, 초기트랩 밀도 그리고 초기온도의 변수값을 가지는 각각의 열자극 세기곡선을 합성하여 여러 열자극 세기곡선이 혼합된 열자극 세기곡선을 구한다. 각각의 독립된 열자극 세기곡선에 대한 변수값은 표1과 같고, 1K/sec의 온도상승율로 300K~600K 온도 구간에서 4개의 열자극 세기곡선을 식(2)에 의해 구한 후, 동일한 온도에 대하여 각각의 계산 독립된 열자극 세기곡선을 식(2)에 의해 구한 후, 동일한 온도에 대하여 각각의 계산 독립된 열자극 세기를 합성하여 구해진 혼합된 열자극 세기곡선은 그림1의 실선과 같다. 수치해석적인 방법을 이용하여 표1의 변수값에 해당하는 혼합된 열자극 세기곡선의 정점 온도, 정점 세기와

Table 1. Thermal parameters of synthetic glow curves.

	Curve1	Curve2	Curve3	Curve4
Kinetic order (1 or 2)	1	2	2	1
Heating rate (K/sec)	1	1	1	1
Activation energy (eV)	1.085	1.45	1.537	1.6
Frequency factor (1/sec)	8.0E+13	3.0E+17	4.0E+16	1.0E+14
Initial con. (arb.units)	4.0E+4	1.0E+5	2.0E+4	2.0E+4
Peak temp. (K)	366.3	395.8	438.8	531.2

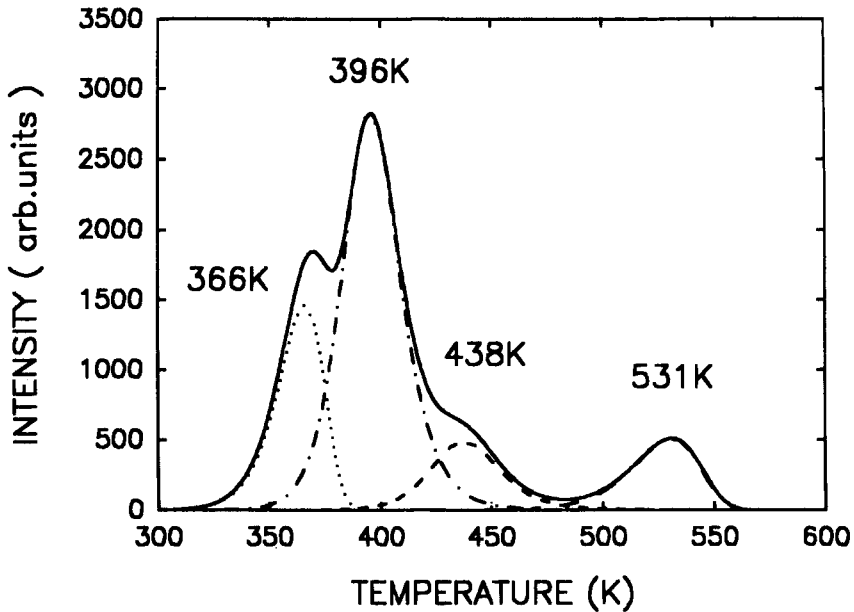


Fig. 1. Synthetic glow curve(solid line) with individual peaks(dots line) fitted by the numerical method. The total fitted curve cannot be distinguished from the original curve.

온도 상승율을 결정하여 각각의 독립된 열자극 세기곡선의 변수인 kinetic order, 활성화 에너지, 이탈 진동수 그리고 초기 트랩 밀도를 구하고, 수치해석적인 방법에 의해 구해진 각각의 변수값에 대한 분해된 열자극 세기곡선은 그림1의 점선이며, 표2는 분해된 각각의 열자극 세기곡선의 변수값이다. 분해된 각각의 열자극 세기곡선의 kinetic order, 활성화 에너지, 이탈진동수, 정점온도 그리고 초기 트랩 밀도의 변수값은 표2와 같다. 표2의 값은 혼합된 열자극 세기곡선을 만들기 위해 주어진 변수값 표1과 동일하며, 주어진 변수에 의한 혼합된 열자극 세기곡선과 수치해석적인 방법에 의하여 구해진 이 곡선에 대한 분해된 곡선의 변수값에 의한 열자극 세기곡선의 전체 열자극 세기곡선이 거의 일치됨을 알 수 있다.

Table 2. Thermal parameters of the complex curves obtained by computerized glow curve analysis.

	Curve1	Curve2	Curve3	Curve4
Kinetic order (1 or 2)	1	2	2	1
Activation energy (eV)	1.119	1.486	1.549	1.64
Frequency factor (1/sec)	2.4E+14	8.9E+17	6.0E+16	2.67E+14
Initial con. (arb.units)	3.9E+4	9.9E+4	2.0E+4	1.95E+4
Peak temp. (K)	366.4	395.7	437.9	530.0

2. 감마선이 조사된  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 의 열자극 발광

Si, Ti의 불순물이 첨가된  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 의 열자극 발광 세기는 TLD-100보다 약 5배의 감도를 가지고 있어 감마선 방사선 선량계(Thermoluminescence Dosimeter : TLD)로서의 연구가,<sup>6)</sup> 열자극 발광에 기여하는  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 의 결정 구조 및 결함 연구를 위하여 감마선, 자외선, 이온 조사에 의한  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 의 열자극 발광 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구에서 사용된  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  (ESPI K-277)의 크기는 직경 10mm, 두께 1mm이며, 감마선을 조사시키기 전에 시료를 800°C에서 1시간 동안 열처리하여 시료 안에 잔존해 있는 열자극 발광에 기인하는 center를 제거 한 후, 300K~600K 범위에서  $\text{Co}^{60}(10^4\text{cGyh}^{-1})$ 의 감마선 선원으로 조사시킨 시료의 열자극 발광을 광증배관(Hamamatsu, R456)으로 측정하였다. 그림 2의 실선은  $10^4\text{cGy}$ 로 조사된  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 을 0.12K/s의 온도 상승률로 측정된 열자극 발광 세기곡선이다. 측정된  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 의 열자극 발광 세기곡선의 정점 세기, 곡선 형태, 정점 온도와 온도 상승률로부터 구해진 각각의 분해된 열자극 발광 세기곡선은 정점 온도가 381K, 415K, 442K, 460K, 488K와 506K이고, 활성화 에너지가 1.12eV, 1.52eV, 1.57eV, 1.76eV, 1.97eV와 2.02eV이고, 이탈진동수가  $6.79 \times 10^{12}(1/\text{sec})$ ,  $3.50 \times 10^{16}(1/\text{sec})$ ,  $9.15 \times 10^{15}(1/\text{sec})$ ,  $2.26 \times 10^{17}(1/\text{sec})$ ,  $2.45 \times 10^{18}(1/\text{sec})$ 와  $1.37 \times 10^{18}(1/\text{sec})$ 로 분해된 6개의 독립 열자극 발광 세기곡선은 그림2의 점선곡선이며, 분해된 열자극 발광 세기곡선에 해당되는 변수값은 표3과 같다. 수치해석적인 방법에 의해 분해된 감마선 조사된  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 의 독립된 세기곡선 중에서 381K의 정점 온도를 갖는 열자극 발광 세기곡선의 kinetic order, 활성화 에너지와 이탈 진동수는 Kim과 Whang, Cooke의 측정값과 매우 유사함을 표4에서 알 수 있다.<sup>7)</sup>

Table 3. Thermal parameters of isolated glow curves from  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  irradiated with  $\text{Co}^{60}$  gamma radiation using numerical method.

	Curve1	Curve2	Curve3	Curve4	Curve5	Curve6
Kinetic order (1 or 2)	1	2	1	1	1	1
Activation energy (eV)	1.12	1.52	1.57	1.76	1.97	2.02
Frequency factor (1/sec)	6.79E+12	3.5E+16	9.15E+15	2.26E+17	2.45E+18	1.37E+18
Initial con. (arb.units)	2.05E+4	1.11E+4	1.14E+3	1.06E+3	2.5E+3	2.9E+2
Peak temp. (K)	381.4	415.1	442.6	460.0	488.2	506.6

Table 4. Thermal parameters of the isolated  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  glow curve with peak located at 381K according to various methods.

	Kinetic order (1 or 2)	Activation energy (eV)	Escape frequency (1/sec)
Numerical Mothod	1	1.12	6.79E+12
Kim and Whang	1	1.10	3.40E+12
Cooke	1	1.05	3.60E+12

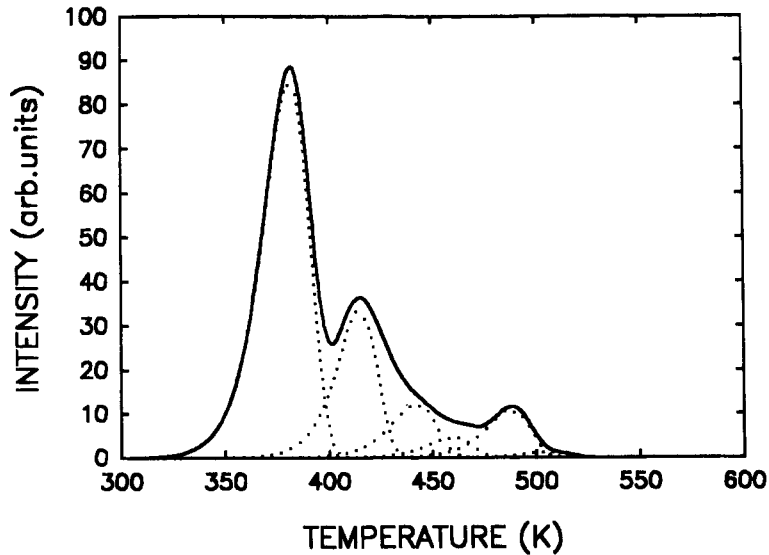


Fig. 2. Analysis of the glow curve from  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  irradiated with  $10^4$ cGy of  $\text{Co}^{60}$  gamma radiation and heated at a rate of 0.12K/sec. The solid line is measured data and the dots line are fits to the data using numerical method.

#### IV. 결 론

열자극 과정의 수학적인 방법을 이용하여 각각의 독립된 열자극 세기곡선의 kinetic order, 활성화 에너지, 이탈 진동수 그리고 초기 트랩 밀도를 구하기 위하여 혼합된 열자극 세기곡선을 분해하였다. 분해된 열자극 곡선 세기와 측정된 세기의 차이를 최소화시키기 위해서 비선형 최소 자승법을 사용하였으며, 주어진 변수값에 의한 혼합된 열자극 곡선 세기로부터 분해된 곡선의 변수값은 주어진 변수값과 매우 유사하였다. 감마선 선량계로 사용되고 있는  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 에 감마선을 조사시킨 후, 300K~600K의 온도 구간에서 측정된  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ 의 열자극 발광 곡선은 6개의 독립된 열자극 발광 세기곡선으로 분해되었다. 분해된 첫번째 열자극 발광 세기곡선의 kinetic order, 활성화 에너지와 이탈 진동수는 각각 1, 1.12eV 그리고  $6.79 \times 10^{12} \text{ sec}^{-1}$ 로써, 이 결과는 다른 측정법에 의한 값과 유사하였고, 분해된 나머지 열자극 발광 세기곡선의 kinetic order, 활성화에너지와 이탈 진동수도 구해졌다.

#### 감사의 글

이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의해서 연구되었으며 이에 감사드립니다.



## 참고문헌

1. R. Chen and Y. Kirsh : Analysis of Thermally Stimulated Process : Pergamon, Oxford(1981), pp. 2-3.
2. P. Kivits and H. J. L. Hagebeuk : Evaluation of the Model for Thermally Stimulated Luminescence and Conductivity : Reliability of Trap Depth Determinations : J. Lumin., 15, 1-27(1977).
3. S. W. S. Mckeever : Thermoluminescence of Solids : Cambridge University Press, Cambridge (1985), p. 114.
4. R. Chen : On the Calculation of Activation Energies and Frequency Factor from Glow Curves : J. Appl. Phys., 41, 570-585 (1969).
5. K. Mahesh, P. S. Weng and C. Furetta : Thermoluminescence in Solids and its Applications : Nuclear Technology Publishing, Ashford (1989), pp. 43-44.
6. Y. S. Horowitz : The Theoretical and Microdosimetric Basis of Thermoluminescence and Applications to Dosimetry : Phys. Med. Biol., 4, 765-824 (1981).
7. H. S. Choe, D. H. Byun, T. K. Kim and C. N. Whang : Thermoluminescence from  $\gamma$ -Ray Irradiated  $Al_2O_3$  : New Physics, 25, 349-354 (1985).

## Computerized Analysis of Thermoluminescence from $\gamma$ -Ray Irradiated $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$

Tae Kyu Kim, Ph. D., Byong Yong Yi, Ph. D.<sup>\*</sup>, Sung Kyu Kim, Ph. D.<sup>\*\*</sup>,  
Young Woo Vahc, Ph. D.<sup>+</sup>, Seong Sil Chu, Ph. D.<sup>++</sup>

Det. of Sci. Education, Chonju University of Education, Chonju, Korea

Dept. of Ther. Radio., Asan Med. Center of Med., Univ. of Ulsan, Seoul, Korea<sup>\*</sup>

Dept. of Ther. Radio. College of Medicine, Yeungnam Univ., Teagu, Korea<sup>\*\*</sup>

College of Wonju Medicine, Yonsei University, Wonju, Korea<sup>+</sup>

Dept. of Radia. Oncology, Coll. of Med., Yonsei Univ., Seoul, Korea<sup>++</sup>

### Abstract

The complex glow curves were split into isolated glow curves to be calculated the values of kinetic order, activation energy, escape frequency and density of initial trap from the independent glow curves using the mathematical method of thermally stimulated processes. The minimization of the intensity difference between measured and theoretical glow curve was done by the nonlinear least-square program. The results of the fitted curves were almost equal to the actual values of the parameters. Thermoluminescence from gamma ray irradiated  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  over the range of 300K to 600K was split into six glow curves. The kinetic order, activation energy and escape frequency of first glow curve were obtained as 1, 1.12eV and  $6.79 \times 10^{12} \text{ sec}^{-1}$ , respectively, which were similar to the results of other method. Also the parameters of the second and the third glow curve and so forth were calculated.