

혼합 방사선장에서 개개의 방사선을 구별하기 위한 $MgB_4O_7(Mn)$ TLD의 응용

고신대학교 의학부 의예학과 교실
유 명 진

Application of $MgB_4O_7(Mn)$ TLD to the discrimination of different radiation in the mixed radiation field.

Myung-Jin Yoo

Medical College, Kosin University,
Pusan 602-702, Korea

= Abstract =

The thermoluminescence of $MgB_4O_7(Mn)$ TLD to different types of radiation with various energies have been investigated. Experimental results indicated that the glow curve and its peak height ratios for $MgB_4O_7(Mn)$ are clearly correlated with the type of radiation field and can therefore be used for the identification of a particular radiation component. Types of radiation that have been studied in this work include fast electron, X and gamma rays.

Key Words : Thermoluminescence, $MgB_4O_7(Mn)$ dosimeter, peak height ratio.

서 론

조직등가물질인 $MgB_4O_7(Z_{eff}=8.4)$ 은 1980년 Prokic⁶⁾이 활성제 Dy 및 Tm을 넣어 방사선 감도가 기존의 LiF 계열보다 4-7배 뛰어난 TLD(Thermoluminescence Dosimeter)라는 것을 보고하였다. 본 연구에서는 MgB_4O_7 에 활성제로 Mn을 첨가한 $MgB_4O_7(Mn)$ TLD로 실험하였다. TLD는 수십년 전부터 방사선량 평가에 널리 이용되고 있지만 환경 방사선량 관리나 개인 피폭선량 결정에 응용할때는, TLD 감도가 방사선의 종류나 에너지에 의존하므로 선량평가의 정확성과 신뢰성에 어느정도 문제가 있다. 그

러므로 TL 선량측정을 하는데 있어서는 방사선의 종류와 에너지를 확인하는 일이 대단히 중요하다.^{1, 2, 7)}

본 연구에서는 $MgB_4O_7(Mn)$ TLD의 glow curve peak 비가 방사선의 종류와 에너지에 대해 어떻게 의존하는가를 조사하였다. 그리고 $MgB_4O_7(Mn)$ 결정체의 크기에 따라서도 peak 비가 달라질 수 있는지를 조사하였다.

재료 및 방법

$MgB_4O_7(Mn)$ TLD는 분말 형태로 badge system에 넣어 사용하였다. $MgB_4O_7(Mn)$ TLD의 glow curve peak는 2개이고, 주

peak는 P_2 로서 254°C에서 나타났고 P_1 은 145°C에서 나타났다. 본 연구는 peak 높이 비 P_1/P_2 에 근거를 두고 있다.

그림 1은 $MgB_4O_7(Mn)$ TLD의 glow curve를 측정하기 위한 장치의 개략도이다.

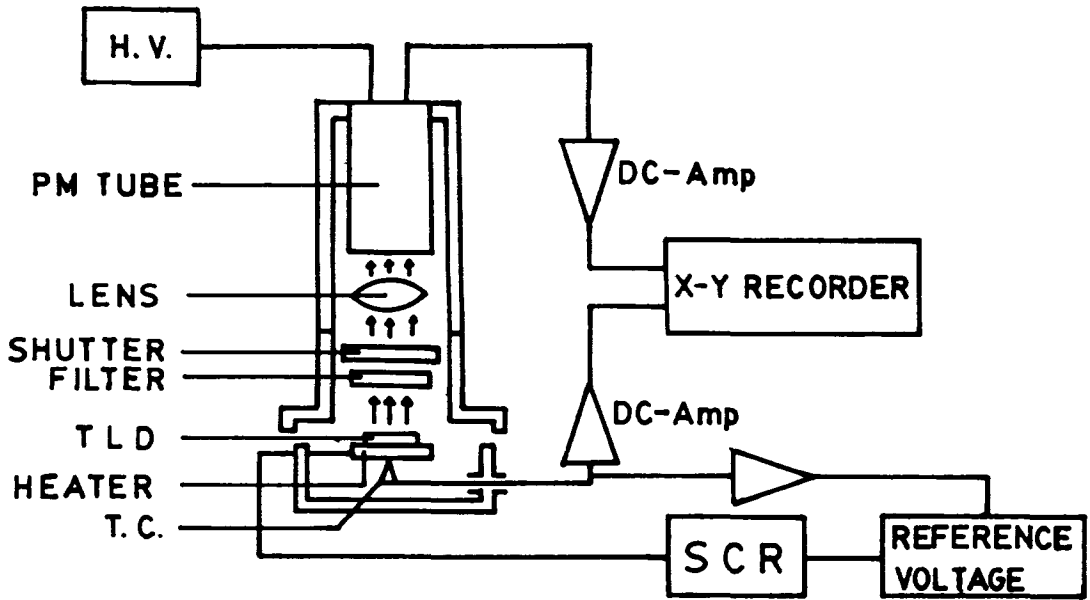


Fig. 1. Schematic diagram of TLD readout system

Table 1. Experimental conditions for X-ray and gamma ray irradiation

X-ray tube voltage and radio isotopes	Inherent filter(mm)	Additional filter(mm)	Effective energy(KeV)	HVL (mm)
50(kVp)	Be 2.2	—	32	Al 2.9
80(kVp)	〃	Al 2.05	40	Al 6.02
100(kVp)	〃	Al 4.01	51	Cu 0.315
150(kVp)	〃	Cu 0.35 + Al 4.0	75	Cu 0.845
200(kVp)	〃	Cu 2.0	113	Cu 2.45
250(kVp)	〃	Cu 5.0 + Cu 1.05	166	Cu 4.75
^{137}Cs	—	—	662	—
^{60}Co	—	—	1250	—

고속 전자선은 6MeV-18MeV 까지 사용하였다.

열전대(Cromel-Alumel)의 기전력을 저잡음 op-Amp로 증폭한 후, 그 출력을 CR 적분기에서 발생한 ramp 전압과 비교하여 그 차동출력에 의해 열판회로에 직렬로 연결되

어 있는 SCR(Silicon Controlled Rectifier)의 전류를 위상제어하여 열판의 온도를 제어하였다. TLD를 가열할때 방출되는 형광은 광전자 증배관(RCA type 5819)으로 검출

하고, 형광의 집속과 열판에서 나오는 적외선을 차단하기 위해 렌즈와 석영필터를 부착하였다. TLD의 glow curve는 열전대와 광전자 증배관으로 검출된 열기전력과 광신호 전류를 각각 증폭하여 X-Y recorder의 X축 및 Y축에 입력시켜 측정하였다. 실험에 사용된 photon(X 및 gamma선과 같이 전하량을 갖고 있지 않는 입자들을 일컫는 말)

방사선은 Table 1에 나타내었다.

결과 및 고찰

그림 2는 $MgB_4O_7(Mn)$ TLD에 ^{60}Co gamma선 및 고속전자선 0.2Gy를 흡수시켜 선형가열률 $5.45^{\circ}C/sec$ 로 실온에서 $350^{\circ}C$ 까지 가열 측정한 glow curve이다.

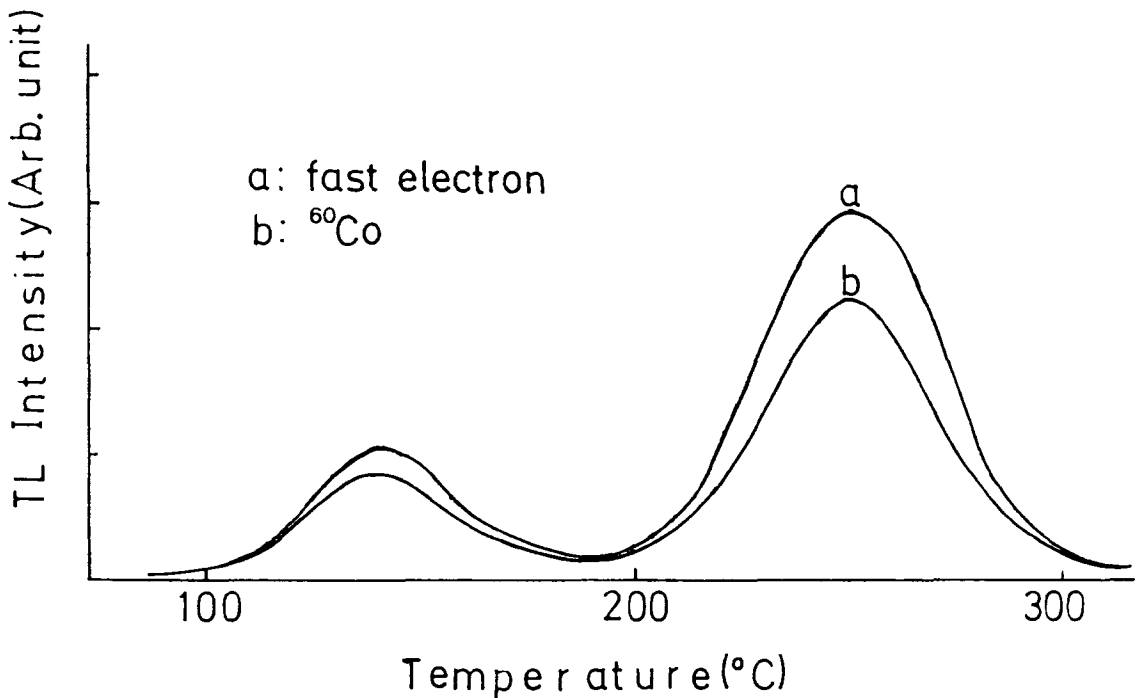


Fig. 2. A typical glow curve of $MgB_4O_7(Mn)$ irradiated with gamma ray and fast electron

$MgB_4O_7(Mn)$ TLD의 glow curve peak 온도는 각각 $145^{\circ}C(P_1)$, $254^{\circ}C(P_2)$ 에서 나타났다. 고속전자선(fast electron)을 흡수시켰을 때도 gamma선을 흡수시켰을 때 처럼 peak가 나타나는 온도는 같았지만 주 peak의 높이가 gamma선의 1.3배 정도 되었다. 이것은 $MgB_4O_7(Mn)$ TLD에 같은 방사선량을 흡수시킬지라도 방사선의 종류에 따라서 열형광 peak 높이가 달라지므로 방사선의 종류를 구별할 수 있다는 의미가 된다. 단순히 흡수선량을 계산할 때는 열

형광량이 가장 높은 peak P_2 를 이용하지만, 다양한 에너지를 갖는 방사선을 평가할 때는 P_1/P_2 높이비가 일정한 값을 갖는 에너지 영역의 방사선을 평가하는 것이 정확한 방법으로 통용되고 있다.

1. X 및 gamma irradiation

그림 3은 $MgB_4O_7(Mn)$ TLD의 glow curve peak비 P_1/P_2 의 photon 에너지에 대한 의존성을 나타내고 있다.

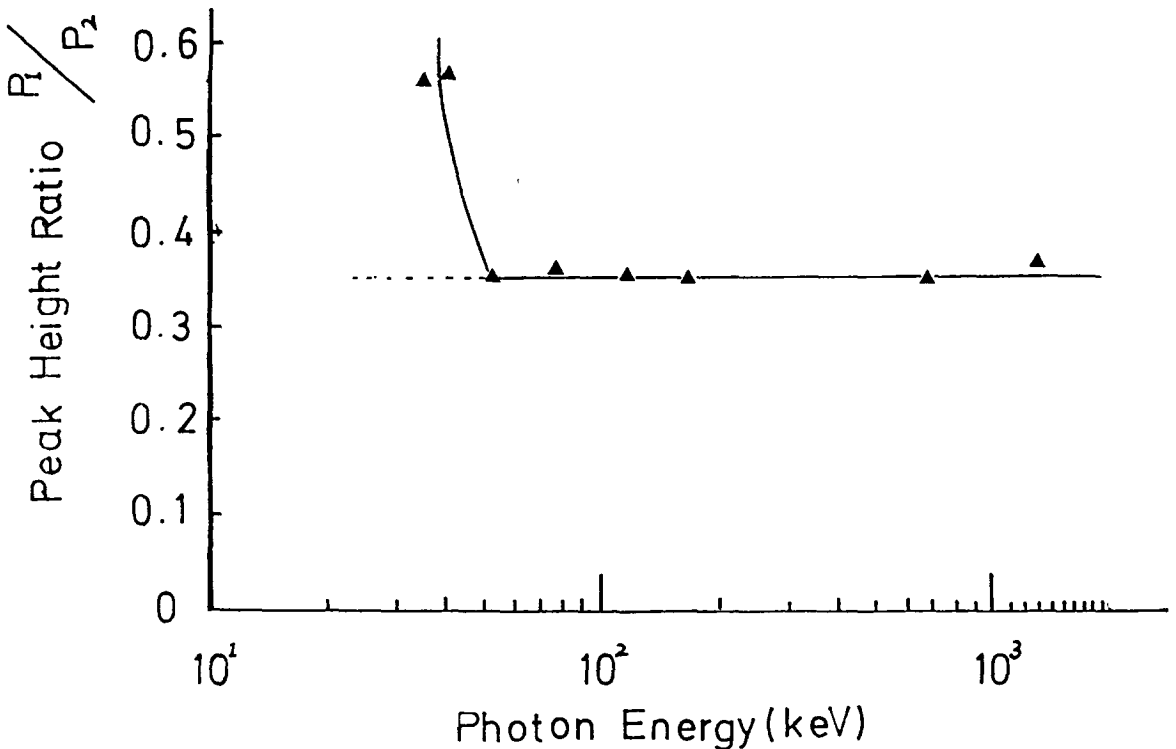


Fig. 3. Peak height ratio plotted against photon energy

P_1/P_2 비는 photon 에너지 50keV부터 수 MeV 범위내에서 약 0.35로 일정한 값이다. 위의 에너지 영역 이외에서는 더 높은 값을 나타내고 있다. 단일 에너지가 아니고 다양한 에너지를 갖는 방사선의 선량평가를 하기 위해서는 여러 종류의 에너지에 대한 정보를 아는 것이 중요하다. 그림 3에서 보여준 $MgB_4O_7(Mn)$ TLD의 P_1/P_2 에 대한 에너지 의존성은 이러한 목적으로는 충분하며 $MgB_4O_7(Mn)$ TLD로 photon을 유효하게 측정할 수 있는 에너지 영역은 선형적인 값을 갖는 50 keV에서 부터 수 MeV까지 라고 할 수 있다.

2. 고속전자선 irradiation

그림 4는 $MgB_4O_7(Mn)$ TLD glow curve의 peak 높이비 P_1/P_2 가 고속전자선 에너지에 어떻게 의존하는가를 보여주고 있다.

P_1/P_2 비는 전자선 에너지 6MeV부터 18 MeV까지 약 0.18로 일정하였다. 이것은

$MgB_4O_7(Mn)$ TLD는 고속전자선의 방사선량도 유효하게 측정할 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 본 실험에서 하지 못한 저속 전자선 영역에서도 P_1/P_2 비가 일정하다고는 할 수 없으므로 저에너지와 고에너지가 포함된 전자선을 측정할 때도 유효한 값을 얻을 수 있을지는 의문이다. 이에 대한 연구는 앞으로 더 계속되어야 한다. 일반적으로 방사선이 TLD 물질에 도달할 때 TLD 물질에 방사선이 흡수될 확률은 고에너지 방사선보다는 저에너지 방사선쪽이 더 크다. 그러므로 열형광 감도도 저에너지 쪽이 훨씬 높게 나오므로 P_1/P_2 비도 저에너지 쪽이 높게 나오리라고 예상된다.

3. grain size 상태

TLD로 방사선량을 측정할때 문제가 되는 것중의 하나는 열형광체의 grain size가 변하면 열형광 감도는 달라진다는 것이다.^{3, 5)}

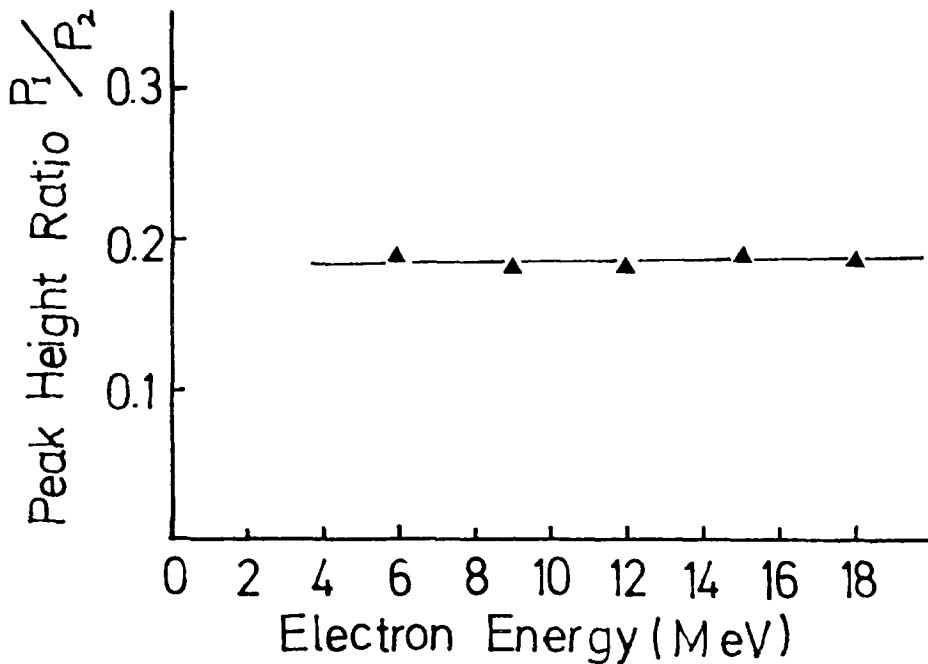


Fig. 4. Peak height ratio plotted against fast electron energy.

그러므로 방사선의 종류별로 또 방사선의 에너지별로 열형광 감도가 최대가 되는 즉 P_1/P_2 비가 가장 작은 grain size를 찾을 필요가 있다. $\text{MgB}_4\text{O}_7(\text{Mn})$ TLD의 grain size 변화에 따른 P_1/P_2 비를 조사하기 위해 분말 형태의 $\text{MgB}_4\text{O}_7(\text{Mn})$ 시료를 sieve로 걸러 44–62 μm , 62–74 μm , 74–149 μm , 149–250 μm 및 250 μm 보다 큰 것, 이상 5가지로 분류하였다. 시료에 gamma 선과 고속전자선을 각각 0.2Gy씩 irradiation 한 후 10mg씩 정량하여 5.45°C/sec의 가열률로 측정하였다.

그림 5는 ^{60}Co gamma선과 고속전자선에 대한 $\text{MgB}_4\text{O}_7(\text{Mn})$ TLD의 grain size에 따른 P_1/P_2 비를 나타내고 있다.

gamma선의 경우, grain size 62–74 μm 크기에서 P_1/P_2 비가 대략 0.35로 최소값을 나타낸다. 고속전자선의 경우도 grain size 크기 62–74 μm 에서 P_1/P_2 비가 약 0.45로 최소값을 나타내었다. 위 실험으로 알 수 있는 것은 gamma선과 고속전자선을 측정

할때 $\text{MgB}_4\text{O}_7(\text{Mn})$ TLD의 적절한 grain size 크기를 결정할 수 있다는 것이다. 두 경우 각각 P_1/P_2 비가 최소값이 되는 grain size 크기는 62–74 μm 크기로서 이 크기로 $\text{MgB}_4\text{O}_7(\text{Mn})$ TLD를 제작하면 최대의 열형광 감도를 얻을 수 있다. 이온결정의 격자결함은 주로 Schottky⁴⁾ 결함이다. Schottky 결함은 한 원자나 이온이 없는 격자 빈 자리를 의미하며, 결정내부에 있는 격자점의 원자가 결정의 표면에 있는 격자점으로 이동함에 의해 생성된다. 따라서 열처리된 결정의 결함밀도(defect density)는 grain size가 작은 것이 grain size가 큰 것에 비해 클 것이다. 그러므로 결정의 grain size를 감소시킴에 따라 열형광 감도는 증가한다. 그러나 결정의 음이온 밀도는 grain size가 감소할수록 증가한다. 이 두가지 영향에 의해 최대 열형광 감도를 나타내는 grain size가 존재하는 것으로 생각된다.

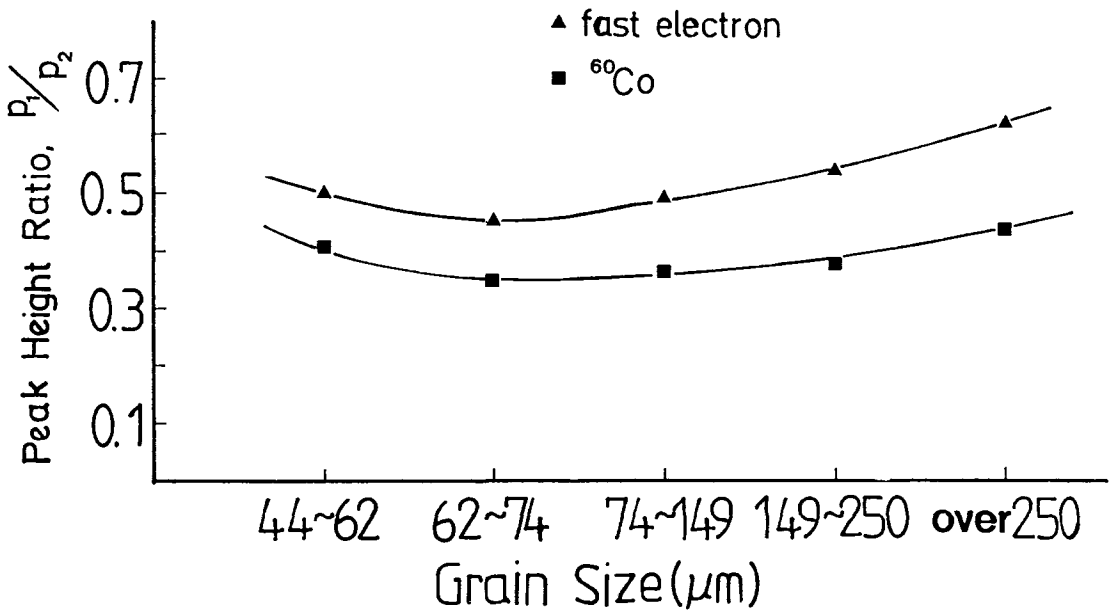


Fig. 5. Peak height ratio plotted against grain size.

결 론

1. $\text{MgB}_4\text{O}_7(\text{Mn})$ TLD의 peak 높이비 P_1/P_2 로 photon 에너지 50keV부터 수 MeV까지의 영역에서 photon을 측정할 수 있다.
2. 고속전자선은 6MeV부터 18MeV까지 영역에서 측정 가능하다.
3. $\text{MgB}_4\text{O}_7(\text{Mn})$ TLD의 높이비 P_1/P_2 은 photon보다는 고속전자선의 경우가 더 작은 값을 나타내었다. 그래서 두 종류의 방사선을 구별할 수 있다.
4. 최대 열형광 감도를 나타내는 $\text{MgB}_4\text{O}_7(\text{Mn})$ TLD의 grain size는 62-74μm이다.

REFERENCES

1. Burgkhordt B and Klipfel A : Dosimetric properties of carbon loaded LiF detectors for beta photon extremity dosimetry, Radiat. Port. Dosim. : 33(1/4) ; 275-278, 1990
2. Croft S, Weaver DR and Heffer PJH : The application of radiophotolumi-

nescent glass to γ dosimetry in mixed n-γ fields, Radiat. Port. Dosim. : 17 ; 67-70, 1986

3. Kasa I : Dependence of thermoluminescence response of $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ and $\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$ on grain size and activator concentration, Radiat. Port. Dosim. : 33(1/4) ; 299-302, 1990
4. Kittel C. Introduction to solid state physics. 5th ed. : McGraw Hill, 538, 1976
5. Luguera E et al : Thin $\text{CaSO}_4 : \text{Dy}$ for beta dosimetry. Grain size and energy dependence, Radiat. Prot. Dosim. : 33(1/4) ; 207-209, 1990
6. Prokic M : Development of highly sensitive $\text{CaSO}_4 : \text{Dy/Tm}$ and $\text{MgB}_4\text{O}_7 : \text{Dy/Tm}$ sintered thermoluminescence dosimeters, Nucl. Instrum. Methods : 175 ; 83, 1980
7. Rayes IM and Stoebe TG : Mixed field multi-element beta/gamma dosimeter design, Radiat. Prot. Dosim. : 17 ; 39-42, 1986