

The Light Sensitivity and Angular Dependence of the $Mg_2SiO_4:Tb(MSO-S)$ TLD

Do-Sung Kim and Myeong-Hwan Park^{*}
Department of Physics Education, Taegu University
Department of Radiologic Technology, Taegu Health College^{*}

$Mg_2SiO_4:Tb(MSO-S)$ TLD의 광감수성과 방향의존성

김도성 · 박명환^{*}

대구대학교 물리교육과, ^{*}대구보건대학 방사선과

Abstract - The light sensitivity and angular dependence of the $Mg_2SiO_4:Tb(MSO-S)$ TLD which affect the accuracy of the radiation dose measurement are investigated. Light-induced thermoluminescence of MSO-S TLD under the 200 lux fluorescent and the incandescent lamp for 8 hours are corresponding to 11 and 3 mR exposure, respectively. TL intensity ratio of the incident angle of $\pm 80^\circ$ to normal incidence for MSO-S and badge type MSO-L are about 0.8 and 0.15, respectively.

Key words : $Mg_2SiO_4:Tb$, TLD, Light Sensitivity, Angular Dependence

요약 - $Mg_2SiO_4:Tb(MSO-S)$ TLD의 사용에서 부정확한 선량평가의 원인이 될 수 있는 광감수성과 방향의존성을 조사하였다. 200 lux의 형광등과 백열등 하에서 8시간씩 노출한 경우 각각 약 11 mR과 3 mR의 조사선량에 해당하는 광감수성이 나타났다. 그리고 수직입사(0°)에 대한 $\pm 80^\circ$ 의 각도로 입사하는 경우의 열형광강도 비가 MSO-S는 약 0.8, badge형의 MSO-L은 약 0.15로서 방향의존성이 비교적 크게 나타났다.

중심어 : $Mg_2SiO_4:Tb$, TLD, 광감수성, 방향의존성

서 론

방사선 취급기관에서의 방사선발생장치와 방사성동위원소의 사용이 증가함에 따라 선량 평가 및 개인피폭선량의 보다 정확한 측정이 강조되고 있다. 방사선작업종사자의 개인피폭선량을 측정하기

위하여 film badge, pocket dosimeter 및 열형광선량계(TLD) 등이 이용되고 있으며, 특히 고감도의 열형광체를 이용한 TLD가 방사선 진단과 치료분야를 비롯한 의료피폭 및 원자력 관계시설에서의 개인피폭관리와 방사선모니터링 등에 많이 이용되고 있다[1-4]. 열형광체 재료 중에서 $Mg_2SiO_4:Tb$ 는 X, γ 선에 대하여 감도가 우수하여 오래 전부

터 진단방사선 영역에서의 선량측정에 사용되었을 뿐만 아니라[5, 6] 상품화되어 사용되고 있는데, Kyokko TLD 소자 MSO-S(Dai Nippon Toryo Co., Ltd.)는 $Mg_2SiO_4:Tb$ 열형광체 결정분말을 유리캡슐에 봉입하여 $2\phi \times 12$ mm의 막대형으로 만든 것으로서 0.1 mR ~ 100 R의 넓은 영역에서 방사선량의 측정이 가능한 고감도의 TLD이다[7].

TLD를 사용하여 방사선량을 평가할 때에는 사용하는 TLD의 선량의존성, 에너지의존성, 감쇠율, 발광 스펙트럼 등의 선량계 특성이 기본적으로 중요한데, $Mg_2SiO_4:Tb$ 에 대한 이와 같은 선량계 특성은 여러 연구자에 의하여 조사 보고되었다[8, 9]. 또한 진단 방사선 영역과 같은 저선량 평가 시에는 부주의하거나 부적절한 취급으로 인하여 부정확한 선량평가의 원인이 될 수 있는 여러 요인들 즉, 광감수성, 마찰열형광, 재생열처리, 방향의 의존성 등의 연구가 중요한데, Nakajima [10]는 텅스텐 램프 하에서의 광감수성을, 그리고 최근 Li 등[11]은 자연광과 형광등 하에서의 $Mg_2SiO_4:Tb$ 의 광감수성과 광학적 퇴행현상을 측정하여 바 있으며, $Mg_2SiO_4:Tb$ 의 방향의존성에 대해서는 아직까지 조사된 바가 없다.

따라서 본 실험에서는 보다 정확한 선량평가를 위하여 $Mg_2SiO_4:Tb$ 로 만든 Kyokko TLD 소자 MSO-S에 대해 형광등과 함께 많이 사용되고 있는 백열등 하에서의 광감수성과 광학적 퇴행현상을 조사하여 Li 등의 결과와 비교·검토하며, 아울러 입사 X-선에 대한 TL 감도의 방향의존성을 측정하였다.

재료 및 방법

$Mg_2SiO_4:Tb$ 로 만든 Kyokko TLD 소자 MSO-S를 증성세제, 증류수, 알코올의 순서로 세척하고 TLD annealing oven(Kyokko, Model AO-SL)을 사용하여 450°C, 30분간 재생 열처리한 후, 12시간 동안 자연 냉각시켜 실험에 사용하였으며, $Mg_2SiO_4:Tb$ (MSO-S) TLD의 광감수성은 다음과 같은 방법으로 조사하였다. 세척과 재생 열처리를 한 MSO-S TLD 소자 90개를 방사선을 조사하지 않은 상태에서 암실 내에서 40W의 형광등 및 60W의 백열등으로부터 조도 200 lux가 되는 위치와 모든 빛을 차폐한 암실의 3가지 조건하에 각각 30개의 TLD 소자를 두었다. 이때 노출시간을 0, 0.5,

1, 2, 4 그리고 8시간으로 하여 각 노출시간에서 각각 5개의 소자를 TLD reader로 판독하고 TL 강도를 측정함으로써 $Mg_2SiO_4:Tb$ (MSO-S) TLD의 광감수성을 조사하였다.

그리고 빛에 대한 TL 감도의 광학적 퇴행현상은 다음과 같이 조사하였다. MSO-S TLD 소자를 세척하고 재생 열처리를 한 후 진단용 X-선 촬영장치(Dong-A, Model DXG-525 RF)로 80 kVp, 200 mA, 0.2 sec, FDD(Focus Detector Distance)=100 cm의 조건에서 MSO-S TLD 소자 90개에 250 mR의 X-선을 조사하고 광감수성 측정 시와 마찬가지로 형광등, 백열등, 암실의 3가지 조건하에 각각 30개를 0~8시간 동안 노출시켰다. 그리고 5개를 1조로 TLD reader로 판독하여 열형광강도를 구하고 평균한 후 0시간 노출한 경우의 열형광강도를 1.0으로 하여 시간경과에 따른 상대적 열형광강도를 구하고 빛에 의한 TL 감도의 퇴행현상을 측정하였다. 또한 $Mg_2SiO_4:Tb$ TLD 소자를 열처리한 후, 진단용 X-선 촬영장치(Dong-A, Model DXG-525 RF)로 80 kVp, 200 mA, 0.2 sec, FDD=100 cm, 조사방사선장의 넓이 10×10 cm² 조건에서 아크릴 팬텀을 사용하여 X-선을 조사하였다. 이 때 TLD에 대해 수직방향(0°)을 기준으로 시계방향으로 +80°, 반시계 방향으로 -80°까지 20° 간격으로 입사 X-선의 각도를 변화시키면서 X-선을 조사하여 열형광강도를 구함으로써 TL 감도의 방향의존성을 조사하였다. 그리고 TLD의 형태에 따른 특성 비교를 위하여 $Mg_2SiO_4:Tb$ 열형광체 결정분말을 유리캡슐에 봉입하여 $2\phi \times 12$ mm의 막대형으로 만든 MSO-S뿐만 아니라, $2\phi \times 30$ mm의 막대형을 TLD badge에 넣은 MSO-L에 대해 방향의존성을 조사하여 상호 비교하였으며, 본 실험에서 조사된 X-선의 선량은 모두 Ion chamber(Capintec, Model PM-30)로 측정하였다.

결과 및 고찰

광감수성

방사선이 조사되지 않은 TLD 소자가 빛에 노출되어 나타나는 TLD의 광감수성을 측정한 결과는 그림 1과 같다. 암실에서는 광감수성이 나타나지 않았으며, 200 lux의 백열등 하에서는 8시간 경과 후 약 3 mR, 200 lux의 형광등 하에서는 8시간 경과 후 약 11 mR에 해당하는 열형광 강도가 나타나

Li 등[11]의 결과와 거의 동일하게 나타났다. 동일한 밝기(200 lux)에서 동일한 시간동안 노출되어도 백열등보다 형광등 하에서 광감수성이 크게 나타났다는데 이는 형광등 빛에 포함된 자외선에 의한 영향으로 생각된다.

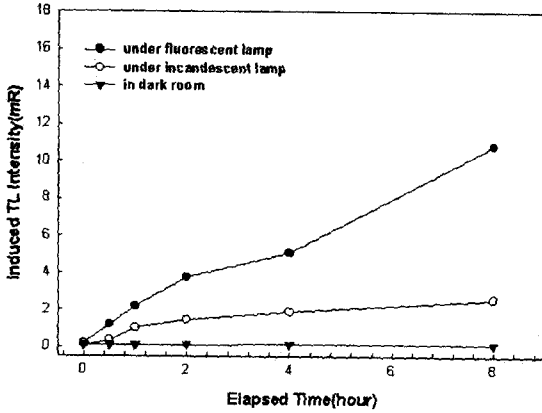


Fig. 1. Light-induced TL intensity of the annealed Mg₂SiO₄:TbTLD(MSO-S) at various conditions.

광학적 퇴행현상

X-선 조사 후의 TL 감도의 광학적 퇴행현상을 측정된 결과는 그림 2와 같으며, 이때 측정시의 온도는 25℃, 상대습도는 72%였다. 방사선 조사후 즉시 판독한 열형광강도를 1로 할 때, 암실의 경우에는 8시간 후의 열형광강도가 약 4%정도 감소하고 200 lux의 형광등 하에서 8시간 노출한 경우에는 약 16%의 열형광강도가 감소하여 Li등의 결과와 거의 동일하게 나타났으며, Mg₂SiO₄:Tb에 대해 허 등[12]이 실험한 150 lux하에서 60분간 노출한 경우 약 30% 감소한 것보다는 광학적 퇴행이 적게 나타났다. 그러나 200 lux의 백열등 하에서 8시간 노출한 후 약 10% 감소하여 동일한 밝기의 형광등 하에서 보다 적게 감소하였다. 동일한 밝기(200 lux)에서 동일한 시간동안 노출되어도 백열등보다 형광등 하에서 열형광강도가 더 많이 감소하는 것은 광감수성과 마찬가지로 형광등 빛에 포함된 자외선에 의한 영향으로 생각된다. 또한 이러한 광학적 퇴행현상은 낮은 에너지 준위에 포획된 전자가 열 또는 빛의 영향에 민감하여 시간이 지남에 따라 쉽게 포획준위를 이탈되기 때문이라

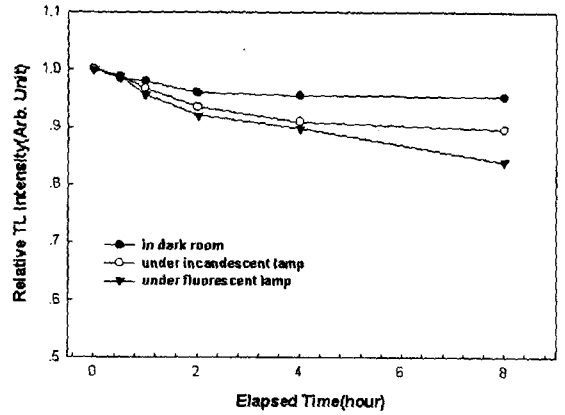


Fig. 2. Optical fading characteristics of the Mg₂SiO₄:Tb TLD(MSO-S).

고 생각된다.

방향의 의존성

입사 X-선의 방향에 따른 Mg₂SiO₄:Tb TLD 감도의 방향의존성을 비교하기 위하여 ① 유리캡슐에 봉입한 2φ x 12 mm 형태의 MSO-S와 ② 유리캡슐에 봉입한 2φ x 30 mm의 TLD 소자를 TLD badge에 넣어 착용이 쉽도록 제작한 MSO-L을 그림 3과 같이 TLD소자에 대해 수직인 방향 0°로 하여 -80°에서 +80°의 범위에서 20° 간격으로 X-선을 조사하였다. 0°에서의 열형광 감도를 1로 하여 각 각도에서의 상대적 열형광 감도를 측정하여 나타낸 방향의존성은 그림 4와 같다. MSO-S의 경우 X-선 조사 각도가 증가함에 따라 열형광 감도가 완만하게 감소하고 0°와 ±80°에서의 열형광 감도의 비가 약 0.8로서 방향의존성이 크지 않았으나, MSO-L의 경우 0°와 ±80°에서

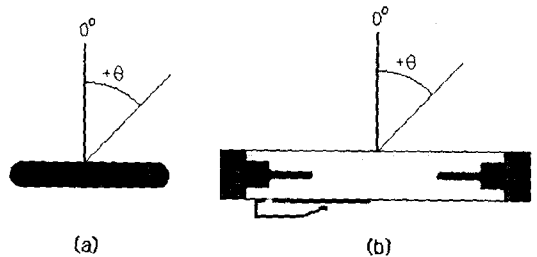


Fig. 3. X-ray irradiation setup for measuring the angular dependence : (a) MSO-S and (b) MSO-L

의 열형광 감도의 비가 약 0.15로서 방향의존성이 매우 크게 나타났는데, 동일한 TLD 소자를 사용하는 경우에도 그 기하학적 구조의 차이에 따라 방향의존성이 다르게 나타남을 확인할 수 있었다. TLD 소자의 방향의존성은 소자의 종류와 형태 및 입사 X-선의 에너지에 밀접하게 관련되어 있으며, 진단방사선 영역과 같은 저선량 측정 시에는 의존성을 고려하여 TLD 소자를 항상 X-선에 대해 수직으로 놓고 측정할 필요가 있으며, 다양한 에너지 영역에서 여러 형태의 TLD 소자에 대해 방향의존성을 연구할 필요가 있다고 생각된다.

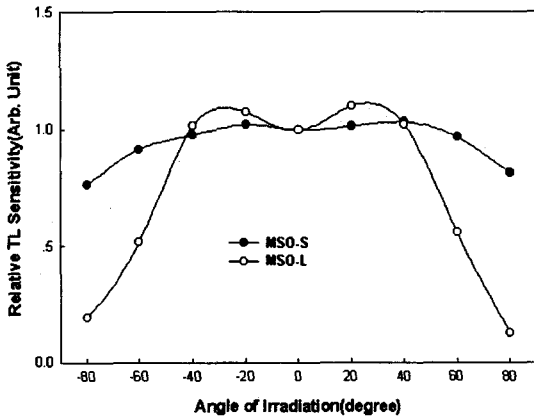


Fig. 4. The angular dependence of the $Mg_2SiO_4:Tb$ TLDs : (a) MSO-S and (b) MSO-L.

결론

$Mg_2SiO_4:Tb$ (MSO-S) TLD의 사용에서 부정확한 선량평가의 원인이 될 수 있는 광감수성과 열형광 감도의 방향의존성을 조사하였다. 200 lux의 형광등과 백열등 하에서 8시간씩 노출한 경우 각각 약 11 mR과 3 mR의 조사선량에 해당하는 광감수성이 나타나 백열등보다 형광등에 의한 광감수성이 더욱 크게 나타났으며, 이러한 경향은 광학적 퇴행현상에서도 유사하여 백열등보다도 형광등에 의해 광학적 퇴행현상이 크게 나타났다. 그리고 수직입사(0°)와 $\pm 80^\circ$ 의 각도로 입사하는 경우의 열형광감도 비가 MSO-S는 약 0.8, badge형의 MSO-L은 약 0.15로서 방향의존성이 비교적 크게 나타났다.

따라서 $Mg_2SiO_4:Tb$ (MSO-S) TLD 소자를 사용하여 진단영역의 저선량을 측정할 때에는 TLD 소

자를 가급적 빛의 효과가 적은 암실에서 취급하며, 방사선조사 후 즉시 열형광량을 측정할 필요가 있다. 또한 TLD 소자의 방향의존성을 고려할 때 보다 정확한 선량측정을 위해서는 X-선 선속에 대해 항상 수직방향(0°)으로 사용하는 것이 바람직한 것으로 생각된다.

참고 문헌

1. 高橋昇外, 診断領域に於けるTLDの使用について, 第37回日本放射線技術學會總會予稿集, 637 (1981).
2. M.Oberhofer, and A.Scharmann, *Applied thermoluminescence dosimetry*, Pergamon Press, Oxford (1981).
3. A.S.Pradhan, "Thermoluminescence dosimetry and its applications", *Rad. Protec. Dosim.*, 1 (3), 153 (1981).
4. 이재기, "베타, 감마 및 X-선 외부피폭 감시를 위한 개인선량계 시스템의 선택", *동위원소 회보*, 9(2), 58-64 (1994).
5. T.Nakajima, "Property of dosimetric thermoluminescent dosimeter", *Radioisotopes*, 27, 676-686 (1978).
6. Y.Kato, et al., "A study of intercomparison of diagnostic X-ray exposure by mailing $Mg_2SiO_4:Tb$ thermoluminescent dosimeter", *Nippon Igaku Hoshasen Gakkai Zasshi Nippon Acta Radiologica*, 41(9), 857-867 (1981).
7. Kyokko TLD System Manual, Dai Nippon Tor-yo Co. (1973).
8. C.Yamamoto and S.Koga, "Properties of thermoluminescent dosimeters ($Mg_2SiO_4:Tb$, $MgB_4O_7:Tb$) and the clinical applications", *Clin Radiol*, 21, 819-824 (1976).
9. K.Kato, et al., "Calibration of $Mg_2SiO_4:Tb$ thermoluminescent dosimeters for use in determining diagnostic X-doses to adult health study participants", *Med. Phys.*, 18(5), 928-933 (1991).
10. T.Nakajima, "Optical and thermal effects on thermoluminescence response of $Mg_2SiO_4:Tb$ and $SO_4:Tm$ phosphors", *Health Phys*, 23, 133-136 (1972).

11. L.B.Li, M.Kai and T.Kusama, "Some characteristics of Mg₂SiO₄(Tb) phosphor for measuring doses from diagnostic X-rays", *Rad. Protec. Dosim.*, **59**(2), 149-152(1995).
12. 허준, 김정민, 이선숙 등, "열형광선량계의 기본 특성에 관한 실험", *확산연구*, **1**(2), 2- 29 (1993).