

## TLD dose variation of Magnetic Resonance Imaging Equipment

Jaeyong Je, Eunbo kang

*Department of Radiological Technology, Dong-Eui Institute of Technology*

### 자기공명영상장비에서 열형광선량계의 선량 변화

제재용, 강은보

동의과학대학교 방사선과

#### Abstract

The PET-MRI which has been installed and being managed recently uses both magnetic field and radiation. Most radiation workers wear a thermoluminescent dosimeter (TLD) as a personal radiation dosimeter, and the TLD is affected both by a magnetic field and radiation. In this research, the same amount of X-ray was applied to 36 TLDs, and the changes in the dose of the 32 TLDs exposed to magnetic field at the location where its intensity of the magnetic resonance imaging (MRI) was about 5000 Gauss for eight hours with one-hour unit and that of the four TLDs not exposed to magnetic field were compared and checked. The measurement result showed that exposure dose of the TLD attached to the MRI changed irregularly depending on the amount of exposure time. Therefore, the TLD whose amount of changes little in the environment of a MRI is demanded to be developed.

Key Words : magnetic field, radiation, TLD, MRI, exposure dose

#### 요약

최근 설치되어 운영되어지고 있는 PET-MRI는 자기장과 방사선을 함께 사용하고 있다. 방사선 작업종사자는 대부분 개인피폭선량계로 열형광선량계(TLD)를 착용하고 있고, TLD는 자기장과 방사선 영향을 동시에 받는다. 본 연구에서는 36개의 TLD에 동일 선량의 X-선을 조사하고, 자기공명영상장비의 자기장 세기가 5000 Gauss 정도인 위치에 1시간 단위로 8시간 동안 노출시킨 32개의 TLD와 자기장에 노출되지않은 4개의 선량변화를 확인하였다. 측정 결과 자기공명영상장비에 부착된 TLD의 피폭선량은 노출시간에 따라 불규칙한 선량 변화를 나타내었다. 따라서 자기공명영상장비 환경에서 선량변화가 작은 열형광선량계의 개발이 요구되어진다.

중심단어: 자기장, 방사선, TLD, 자기공명영상, 피폭선량

## I. 서론

질병의 치료보다는 진단을 위하여 여러 종류의 진단 장비가 사용되어지고 있다. 영상의학과에서 사용하는 진단 장비는 방사선을 이용한 장비와 자기공명 및 초음파를 이용한 장비가 대부분을 차지한다. 이들 중 방사선을 이용한 핵의학 진단의 발전과 더불어 국내에서도 PET(positron emission tomograph) - MRI(자기공명영상장치, Magnetic Resonance Imaging)가 설치되어 운영되어지고 있다. 국내 의료기관뿐만 아니라 산업체등에서 방사선 관련 업무에 종사하는 방사선 작업 종사자들은 방사선 피폭 위험도가 높아 개인피폭선량계를 착용하고 정기적으로 방사선 피폭 선량을 측정하고 있다.

TLD는 방사선에 대한 감도와 안정성이 좋고 측정 가능한 선량범위가 넓으며 재사용이 가능하고 집적 선량의 측정이 가능하므로 방사선 방어의 관점에서 많은 연구가 진행되어 왔다<sup>[1]</sup>. 열형광 물질에 대한 최초의 개발은 Wiedemann과 Schmidt<sup>[2]</sup>에 의해 시작되었으며, 그 현상에 대한 이론적 모형은 Randall과 Wilkins<sup>[3]</sup>가 1차 발광차수에 대한 모형을 제안하였고 Garlick과 Gibson<sup>[4]</sup>은 2차 발광차수에 대한 모형을 발표하였다. 이러한 열형광체는 미량으로 첨가된 불순물이 물질내에 격자 결함을 만들고 방사선에 의해 전도대로 이동한 전자는 트랩에 포획되어지고 빛 또는 시료의 가열에 의하여 방사선 선량에 비례하는 강도의 열형광이 나타난다. 정확한 선량을 평가를 위하여 트랩에 포획된 전자는 안정되게 존재해야 되며 외부영향에 의하여 이탈되어서는 안된다. 현재까지 대부분 열형광체 연구는 방사선에 대한 감도 향상을 위하여 많은 연구가 되어졌으나 PET-MRI의 개발로 인하여 TLD의 외부 영향에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 의료기관 작업종사자가 전리방사선과 비전리방사선을 동시에 사용하는 작업종사자에 적용할 수 있는 개인 피폭선량의 정확성을 위한 연구이다. 의료기관 종사자의 환경이 첨단장비로 변화되어감에 따라 방사선과 자기장이 동시에 영향을 받는 구역에서 개인 피폭선량 보정인자의 연구는 이루어지지 않아 열형광체의 자기장 영향을 조사하였다. 진단장비의 환경이 다른 구역에 근무하는 종사자의 개인 피폭

선량계인 열형광체를 분석하여 자장에 미치는 영향인자를 조사하였다. 오래전부터 TLD는 방사선 뿐 만 아니라 MRI 장비의 영향을 동시에 받았다. 최신장비인 PET-MRI 장비의 환경은 자기장과 방사선을 동시에 사용하므로 개인피폭선량계로 대부분 사용하는 TLD가 MRI 환경에서 미치는 영향에 관한 연구가 절실히 필요하여 연구하게 되었다.

## II. 대상 및 방법

### 2.1 연구대상

MRI 장비에서 TLD의 방사선량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 방사선 작업 종사자가 일반적으로 사용하고 있는  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ 와  $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ 으로 구성되어진 TLD(UD-802AS, Panasonic, US) 36 개를 이용하여 각각에 대한 선량변화를 측정하였다.

### 2.2 실험방법

TLD의 방사선 조사장비는 진단용 방사선 발생장비(REX-650R, 리스텍, 한국)를 사용하였으며, 동일 조건에서 방사선속을 중심으로 TLD 36개를 위치시켰다. TLD에 조사된 방사선의 발생 조건은 100 kVp, 320 mA, 16 mAs이고 조사선량은 23 mR이다. 방사선이 조사된 36개의 TLD에서 자기장에 노출시키지 않은 4개는 상온에 보관하고 나머지 32개는 MRI장비에서 방사선 작업종사자가 환자의 검사를 위하여 위치하는 곳인 외부 켄트리의 벽면에 설치하였다. TLD를 설치한 MRI 장비는 필립스사의 PET-MRI 장비와 동일한 MRI(Achieva-3.0T TX, Philips, US)를 사용하였다. 실험에서 사용한 MRI 장비에서는 방사선 작업종사자가 환자 검사를 위하여 노출되는 자기장의 세기가 약 5000 Gauss 정도이며, 시간당 4 개씩 총 8 시간동안 32개의 TLD를 MRI 장비에 노출 시켰다. MRI 장비에 노출된 TLD와 비 노출된 TLD는 판독 시스템(UD-716, Panasonic, US)을 사용하여 방사선량을 심부선량과 표면선량으로 구분하여 판독하였다. 판독된 선량값은 MRI 장비에 노출된 시간대별로 4개의 TLD를 평균하여 선량변화를 분석하고, 동일 시간대에 사용된 4개의 TLD는 최고값과 최저값의 선량변화율을 분석하였다.

### III. 결과

MRI 장비에 노출과 비 노출된 TLD의 비교에 따른 심부선량과 표층선량의 변화를 Table 1에 나타내었다. 선량값은 실험에서 같은 시간동안 MRI 장비에 노출된 4개의 TLD 선량 값을 평균하여 나타내었다. MRI 장비에 노출되지 않은 TLD의 심부선량 값은 2.35이고 표층선량은 2.85로 나타났다. MRI 장비에 노출된 TLD의 시간에 따른 심부선량과 표층선량은 1시간에서 1.91, 2.31, 2시간에서 2.15, 2.60, 3시간에서 2.26, 2.74, 4시간에서 2.28, 2.77, 5시간에서 1.92, 2.33, 6시간에서 2.20, 2.66, 7시간에서 2.02, 2.66, 8시간에서 2.35, 2.84 mSv로 나타났다. MRI 장비에 노출된 TLD는 모두 낮은 선량값을 나타내었다. 노출되지 않은 TLD의 심부선량과 표층선량을 기준으로 1시간과 5시간 노출에서 가장 낮은 선량값을 나타내었으며, 그 값은 약 19% 감소하는 것으로 나타났다.

Table 1. Dose Variation According to the Time of Exposure to the MRI equipment [mSv]

Exposure Time[hr]	Depth Dose	Surface Dose
0	2.35	2.85
1	1.91	2.31
2	2.15	2.60
3	2.26	2.74
4	2.28	2.77
5	1.92	2.33
6	2.20	2.66
7	2.02	2.44
8	2.35	2.84

심부선량과 표층선량은 TLD가 MRI 장비에 노출된 시간에 따라 선형적인 증가와 감소를 나타내지는 않았다. 8시간의 노출에서는 MRI 장비에 비 노출된 TLD의 심부선량 2.35 mSv와 표층선량 2.84 mSv와 비슷한 결과 값을 나타내었다. 각 시간대별 사용한 4개의 TLD에 대한 선량 변화율을 Table 2에 나타내었다. MRI 장비에 노출되지 않은 4개의 TLD에 대한 심부선량 변화율과 표층선량 변화율은  $\pm 8.6\%$ ,  $\pm 8.5\%$ 로 나타났다. 그리고 MRI 장비에 노출된 TLD의 시간에 따른 4개의 선량 변화율은 심부선량과 표층선량 차이가 1

시간에서  $\pm 10.5\%$ , 2시간에서  $\pm 4.9\%$ , 3시간에서  $\pm 8.5\%$ , 4시간에서  $\pm 2.4\%$ ,  $\pm 2.3\%$ , 5시간에서  $\pm 8.3\%$ , 6시간에서  $\pm 11.5\%$ , 7시간에서  $\pm 15\%$ , 8시간에서  $\pm 11.9\%$ ,  $\pm 11.7\%$ 로 나타났다. 즉, TLD badge 마다 동일 조건일지라도 각각의 선량계에 대한 선량 값의 변화가 다르게 나타남을 알 수 있다.

Table 2. Dose Rate of Change the Materials at the Same Exposure Time [mSv]

Exposure Time[hr]	Depth Dose	Surface Dose
0	2.365 $\pm$ 8.6%	2.865 $\pm$ 8.5%
1	1.845 $\pm$ 10.5%	2.235 $\pm$ 10.5%
2	2.105 $\pm$ 4.9%	2.555 $\pm$ 4.9%
3	2.230 $\pm$ 8.5%	2.710 $\pm$ 8.5%
4	2.285 $\pm$ 2.4%	2.765 $\pm$ 2.3%
5	1.930 $\pm$ 8.3%	2.335 $\pm$ 8.3%
6	2.135 $\pm$ 11.5%	2.590 $\pm$ 11.5%
7	1.965 $\pm$ 15.0%	2.38 $\pm$ 15.0%
8	2.350 $\pm$ 11.9%	2.845 $\pm$ 11.7%

### IV. 고찰

MRI 장비에 노출된 TLD가 시간에 따라 선량변화가 나타나는 것을 확인하였다. 2011년 동 저자에 의하여 처음으로 자기장 세기와 노출시간에 따른 선량변화를 제기 하였으며[5], 자기장에 의한 선량변화가 나타나는 원인으로 첫 번째 이유는 방사선에 의하여 포획된 전자가 MRI 장비 환경에서 이탈되어 이동한 결과라고 할 수 있고 두 번째 이유는 MRI 장비를 이용한 환자 검사 과정에서 자기장의 세기와 RF 주파수가 변화되어 나타난 결과로 판단할 수 있다. 그리고 세 번째 이유는 각각의 TLD마다 특성이 다르기 때문에 나타난 결과라고도 할 수 있다. 즉, TLD는 제작과정에서 트랩의 수와 트랩의 위치는 정해지며 외부 환경에 의하여 트랩의 위치와 수가 변화되지는 않는다. 선량변화를 나타내는데 작용하는 것은 TLD 물질의 전자들이며 이들의 활성화 에너지는  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7:\text{Cu}$ 에서 낮은 트랩은 0.81 eV이고, 깊은 트랩의 활성화 에너지는 1.7 eV이다<sup>[6]</sup>.  $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ 의 활성화 에너지는 1.26 eV로서<sup>[7]</sup> 트랩에 포획된 전자들은 외부영향과 에너지에 의해 쉽게 이탈 될 수 있음을 의미한다.

## V. 결론

개인피폭선량계로 사용되는 TLD는 정확한 개인피폭선량의 정보를 제공하여야 하므로 보정 값을 정확하게 하여야 한다. 그러나 열형광체의 활성화 에너지가 낮은 트랩의 전자들은 주위환경에 의하여 트랩에 포획된 전자들이 쉽게 이탈하여 정확한 개인피폭선량을 평가하기가 곤란하다. 본 연구의 결과는 MRI 장치실에서 근무하는 방사선작업종사자가 착용하고 있는 TLD의 오차요인이 자기장에서 나타난다는 것을 알 수 있다. 이에 개인피폭선량의 오차요인에 의한 보정을 실시하여야 하는 것으로 나타났다. 오차의 원인은 MRI 장치에서 방출되는 자기장에 노출되어 트랩에 포획된 전자가 이탈과 동시에 주위의 다른 트랩으로 이동하거나 가전자대의 재결합중심과 재결합하여 나타난 결과로 여겨진다.

앞으로 열형광체를 글로우 곡선 분석을 통하여 선량 오차의 원인이 자기장인지 또 다른 원인이 무엇인지 계속 연구되어야 할 것으로 사료된다. 그리고 각각의 TLD 결정에 대하여 특성이 다르므로 원인분석을 위해서는 각종 형광체 분말 시료를 사용하여 측정하는 것이 좀 더 정확한 분석 방법이라 할 수 있다.

## 감사의글

This work was supported by the Dong-eui Institute of Technology research subsidies in 2012.

## 참고문헌

- [1] Oberhofer M and Scharmn, "Applied Thermoluminescence Dosimetry", Pergamon Press, Oxford, 1981.
- [2] Wiedemann E and Schmit GC, Ann. Phys. Chem. Neue Folge, Vol. 54, pp.604, 1895.
- [3] Randall JT and Wilkins MHF, "Phosphorescence and electron traps I. The study of trap distribution", Proc. Roy. Soc, Vol. A184, pp.366, 1945.
- [4] Garlick GFJ and Gibson AF, "The Electron Trap Mechanism of Luminescence in Sulphide and Silicate Phosphors", Proc. Phys. Soc. Vol. 60, pp.574, 1948.
- [5] 제재용, "자기장이 심부선량과 표층선량에 미치는 영향", 한국방사선학회 춘계종합학술대회 초록집. Vol. 5, No. 1,

pp.105-107, 2001.

- [6] Tiwari B, Rawat NS, Desai DG, Singh SG, Tyagi M, Ratna P, Gadkari SC, Kulkarni MS, "Thermoluminescence studies on Cl-doped Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> single crystals", Journal of luminescence, Vol. 103, No. 11, pp.2076-2083, 2010.
- [7] 권경재, "CaSo<sub>4</sub>(Dy, Tm) 열형광체의 제작과 특성에 관한 연구", 경남대학교 석사학위논문, pp.19, 1993.