

시간 경과에 따른 자기장 노출 유·무 환경에서 열형광선량계의 글로우 곡선 및 피폭 방사선량 분석

TLD's Glow Curve and Radiation Exposure Amount Analysis at Environment with/without Magnetic Field Exposure as Time Passing

이재현, 고성진, 김정훈

부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과

Jae-Heon Lee(yijaehun1391@naver.com), Seong-Jin Ko(sjko@cup.ac.kr),
Jung-Hoon Kim(donald@cup.ac.kr)

요약

본 연구는 PET-MRI를 다루는 방사선 작업 종사자들의 효과적인 피폭관리와 경과시간(24시간, 1주, 2주, 3주, 4주) 및 자기장에 따른 개인피폭선량계의 변화를 분석하고자 하였다. 그룹화된 TLD에 열처리 수행 및 방사선을 조사하여 각기 다른 노출 환경에 보관한 후 실험이 종료되면 판독을 수행하여 글로우 곡선 및 피폭 방사선량의 변화 추이를 관찰하였다. 그 결과, 24시간 경과한 TLD 그룹에서 글로우 곡선 및 방사선량의 차이가 있는 것으로 확인되었다. 이는 자기장 노출로 인한 변화인 것으로 해석할 수 있다. 또한 자기장에 노출되지 않은 TLD 그룹의 평균 피폭 방사선량은 15.41 mSv로 나타났으며, 자기장에 노출된 TLD 그룹의 평균 피폭 방사선량은 14.83 mSv로 나머지 그룹보다 가장 크게 감소(3.80%)하는 경향을 나타냈다. PET-MRI실에서 근무하는 방사선 작업 종사자가 개인피폭선량계로 TLD를 사용하는 경우, 정기 판독주기에 맞게 TLD 판독 시 자기장 노출로 인한 실제 피폭 방사선량과의 차이는 크게 없을 것으로 판단되어지나 정기 판독이 아닌 중간 판독을 수행하였을 경우, 실제 피폭 방사선량보다 낮은 피폭선량 값을 나타낼 것이다.

■ 중심어 : | 열형광선량계 | 자기장 | 글로우곡선 | 피폭 방사선량 |

Abstract

The research is done to analyze the change of personal dosimeter according to the elapsed times(24 hours, 1 week, 2 weeks, 3 weeks, 4 weeks) and magnetic field and find out the effective exposure treatment for radiation workers. At first, research the heat treatment and radiation of grouped TLD and keep them in different environments-exposed separately to observe the consequences of glow curve and the level of radiation exposure. As a result, we could find that 24 hours passing TLD group showed the difference in glow curve and the level of radiation. This can be considered as the change caused by magnetic exposure. Also the average radiation exposure level of TLD group, unexposed to the magnetic field, was 15.41 mSv. And the average radiation exposure level of TLD group, exposed to the magnetic field, was 14.83 mSv which decreased the biggest amount(3.80%) among the other groups. If a radiation worker, who works in PET-MRI room, uses TLD as a personal dosimeter, the level of real radiation exposure caused by exposure to the magnetic field won't change significantly as recorded at a regular record cycle but with not regular record but interim record, the lower exposure dose will be appeared than the real level of radiation

■ keyword : | TLD | Magnetic Field | Glow Curve | Level(amount) of Radiation Exposure |

I. 서론

원자력 발전소와 산업체 및 의료기관 등 다양한 분야에서 광범위하게 방사선 이용이 증가함에 따라 방사선 측정 및 선량평가가 중요하게 대두 되고 있다[1].

특히 개인 피폭 방사선량평가의 경우, 피폭 방사선량 평가 결과는 방사선 작업 종사자의 건강과 관련된 중요한 항목으로 방사선 작업 종사자의 방사선 장해에 대한 안전성을 입증하기 위해 정확하고 신뢰성 있는 피폭 방사선량 측정 및 평가가 이루어져야 한다. 지난 수십년간 개발된 다양한 방사선 검출기 가운데 개인 피폭 방사선량 측정용으로, 규제기관에서 법정선량계로 인정한 검출기로는 필름배지(Film Badge, FB), 열형광선량계(Thermo Luminescent Dosimeter, TLD), 유리선량계(Glass Dosimeter, GD), 광자극발광선량계(Optically Stimulated Luminescence Dosimeter, OSLD) 등이 있다[2].

이중 TLD는 유전체 등이 방사선에 피폭된 후 외부에서 열자극을 받으면 빛을 내는 열발광(TL) 현상을 이용한 것으로 소형 또는 분말체로 재사용이 가능하다[3-5]. 또한 타 선량계에 비해 방사선에 대한 감도가 좋고 선량측정 범위가 넓으며 장기간의 집적선량 측정이 가능하다는 장점을 가지고 있다[6]. 우리나라에서는 1990년도 이전에는 FB를 주로 사용하였으나 TLD가 개인선량계, 환경 방사선량계 등 다양한 용도로 널리 활용되면서 2010년 이후부터는 TLD의 사용이 증가하는 추세이다[7].

최근 핵의학의 기술 및 장비의 발전으로 의료기관에서는 방사성동위원소를 활용한 PET과 자기장을 활용하는 MRI의 장점이 결합된 PET-MRI를 도입하여 암 진단과 치료의 정확성을 높이고 있다[8]. PET-MRI가 가지는 장점으로는 우선 전신 CT에 의한 환자 피폭이 없어졌고, 연부조직에 대한 대조도가 우수해졌다[9]. 또한 PET 검출기 및 MRI 코일을 일체형으로 제작함으로써 동시적인 데이터를 얻을 수 있게 되었다[10].

기존의 영상 장비들과 비교한 PET-MRI의 임상적용에 관한 연구는 두경부암 PET-MRI 검사의 유용성 평가[11], PET-MRI에 있어 MRI 조영제가 PET에 미치는 영향[12] 등 임상적인 부분과 연구적인 부분에서 많이 활성화되고 있다. 그러나 PET-MRI가 개발되기 전

까지는 개인선량계인 TLD가 자기장에 노출되지 않았으나 PET-MRI의 도입으로 인하여 자기장과 방사선이 공존되어 있는 환경에 TLD가 노출되게 되었다. TLD는 온도, 습도, 압력 등의 외부 환경 인자에 대해 비교적 영향이 적은 것으로 알려져 있으나[13], TLD의 자기장 노출 시 피폭 방사선량 분석 연구에서 자기장이 TLD의 판독에 영향을 끼치는 것으로 나타났다[14-16]. 이는 자기장을 사용하는 시설 등에서 장기 근무하는 방사선 작업 종사자의 피폭 방사선량 평가 시 문제가 될 수 있기 때문에 자기장이 TLD에 미치는 영향에 대해 다양한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 주어진 온도상승률에 따라 TLD로부터 검출된 빛의 양인, 열형광 강도와 시간 경과에 따른 자기장 노출 유·무 환경과의 관계를 확인하기 위하여 TLD 글로우 곡선을 측정하였다. 또한 산출된 피폭 방사선량을 대상으로 변화 추이를 분석하였으며 이를 바탕으로 PET-MRI를 다루는 방사선 작업 종사자들의 효과적인 피폭관리와 자기장에 따른 피폭 방사선량에 관한 기초자료를 제시하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 재료

1.1 열형광선량계(TLD)

국내에서 사용하고 있는 TLD 판독시스템은 제작사에 따라 크게 Harshaw TLD 시스템과 Panasonic TLD 시스템 2가지 형태이다[17][18]. 본 실험에서는 Harshaw사의 TLD 중 4개의 열형광소자로 구성된 TLD card(7776, Harshaw, USA) 및 Holder(8814, Harshaw, USA)를 사용하였다. 열형광소자를 구성하는 물질(LiF:Mg,Ti)은 조직등가물질인 LiF으로 Li의 농도에 따라 TLD-600 및 TLD-700의 형태로 구분할 수 있다[19][20]. Li-6의 농도가 0.01%로 구성된 TLD-700은 광자를 측정할 수 있으며, TLD card(7776, Harshaw, USA)의 1,2,3번에 위치한다. 반면, Li-6의 농도가 95.6%로 구성된 TLD-600은 열중성자를 측정할 수 있으며, TLD card(7776, Harshaw, USA)의 4번에 위치한다. [그림 1]에 본 실험에서 사용한 TLD Card 및

Holder를 나타내었다.

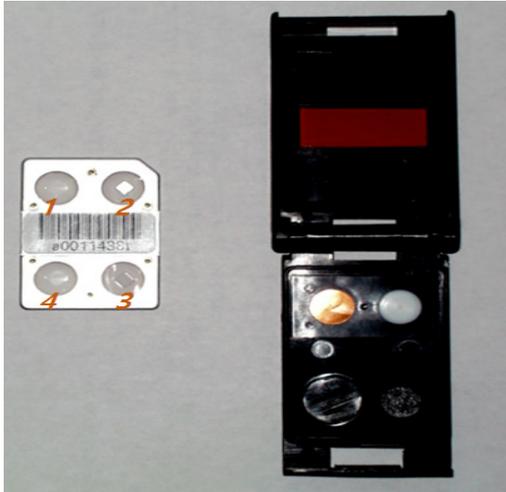


Fig. 1. Specific TL materials and Holder of Harshaw 8814 TLD badge

1.2 소자보정인자(Element Correction Coefficient, ECC)

TLD 소자는 동일한 제조공정에 의해 생산되지만 각 소자별로 고유 반응도 편차가 있으며, 반복 사용 또는 외부로부터의 물리적 자극에 의해 반응도가 조금씩 변할 수 있다. 따라서 신규 구입한 선량계 또는 기사용 중인 선량계의 반응도를 산출하여 평균 반응도에 맞추어 지도록 보정해 주는 인자가 소자보정인자(ECC)이다 [21]. 본 실험에서는 소자보정인자 산출을 통해 재현성이 뛰어난 TLD를 선별하여 사용하였다.

1.3 선량평가 알고리즘

방사선장에 노출된 TLD Card는 각각의 다른 4개 영역별 소자 및 필터의 특성 차이를 이용하여 소자 반응도 간의 비(L1/L2, L3/L2, L2/L4...)로 광자와 베타 그리고 중성자 각각에 기인한 반응도를 구분한 후, 각각의 방사선장에 해당하는 선량고정인자를 계산하면 개인이 피폭된 심부선량 등을 평가할 수 있다[22]. 이를 선량평가 알고리즘이라 하며, 본 실험에서는 Harshaw사의 WinAlgorithms 8805(ver. 1.2.1.0) 프로그램을 이용하여 각각의 TLD Card의 피폭 방사선량을 측정하였다.

2. 실험방법

2.1 소자보정인자(Element Correction Coefficient, ECC) 산출

TLD Reader(6600 PLUS, Harshaw, USA)를 사용하여 열처리를 수행한 후, 잔존선량이 제거된 TLD card에 내부조사기($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, 0.5 mCi)를 이용하여 500 gU를 조사하였다. 기준 조사된 TLD card는 1주일 후에 판독하여 각 소자별로 고유 반응도를 구한 다음 이를 평균 반응도에 맞게 보정이 되도록 소자보정인자(ECC)값을 산출하였다. 본 실험에서는 ECC값이 10% 이내로 재현성이 뛰어난 100개의 TLD를 선별하였다.

2.2 열형광선량계(TLD) 분류

일반적으로 PET-MRI는 PET 장치에 3 Tesla의 MRI 의료 장비가 결합되어 있는 구조이나 본 실험에서는 1.5 Tesla MRI(MAGNETOM Avanto, SIMENES, GER)를 사용하여 자기장 노출 환경을 준비하였다. 준비된 100개의 TLD는 자기장 노출 유·무에 따라 2개의 선량계 그룹으로 분류 한 후, 다시 각 그룹당 10개씩 경과시간(24시간, 1주, 2주, 3주, 4주)별로 세분화 시켰다. 그룹화된 100개의 TLD에 2,000 gU 기준조사를 수행하였으며, 자기장에 노출시키지 않은 TLD 그룹은 암실에서 보관하였고, 나머지 그룹은 MRI 갠트리 중앙에 설치하여 자기장에 노출시켰다. 이때, 암실의 보관환경은 MRI 실내의 환경과 동일하도록 항온항습기(AIR CONDIT- IONER, HOMSYS, KOR)를 이용하여 온·습도를 조절하였다.

2.3 TLD 글로우 곡선 및 피폭 방사선량 분석

실험이 종료되면 각 그룹의 TLD를 회수하여 TLD Reader(6600 PLUS, Harshaw, USA)로 25 °C/sec의 가온율과 50~300 °C의 온도 범위에서 판독을 수행하여 글로우 곡선을 획득하였으며, 선량평가 알고리즘 프로그램(WinAlgorithms 8805, ver. 1.2.1.0)을 이용하여 피폭 방사선량을 산출하였다. 산출된 각 그룹의 TLD 피폭 방사선량은 SPSS(SP- SS Ver:20 Inc. USA)를 통해 자기장 노출 유·무와 시간 경과에 따른 TLD 피폭 방사선량의 차이를 확인하고자 독립 t-검정(Independent

t-test), 일원 반복측정 분산분석 방법, 이원 반복측정 분산분석방법 등 3가지로 구분하여 수행하였다.

III. 결 과

1. TLD 글로우 곡선 분석

TLD Reader(6600 PLUS, Harshaw, USA)를 통해 25 °C/sec의 가온율과 50~300 °C의 온도범위에서 관독을 수행하여 각 그룹의 TLD 글로우 곡선을 획득하였다. 획득한 TLD 글로우 곡선의 여러 발광피크들 가운데 낮은 트랩에 해당하는 단 반감기 피크는 약 210 °C에서 나타났으며, 기준조사 후 24시간 경과한 TLD 그룹에서는 쉽게 관찰할 수 있었으나, 나머지 그룹에서는 시간 경과에 따라 점차적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 깊은 트랩의 장 반감기 피크는 가열 조건의 최고 온도인 300 °C 근처에서 나타났으며, 모든 TLD 그룹에서 확인할 수 있었다. 또한 단 반감기 피크와는 달리 시간 경과에 따른 가시적 변화를 보이지 않았다.

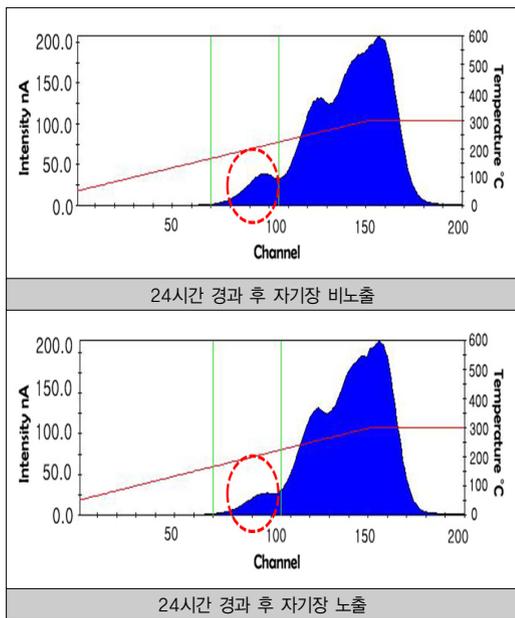


Fig. 2. Glow Curve According to the Time of Exposure/Non-Exposure to Magnetic Field

시간 경과에 따른 자기장 노출 유·무 환경에서 TLD 글로우 곡선 분석 결과, 기준조사 후 24시간 경과한 TLD 그룹을 제외한 나머지 그룹에서는 서로 간의 글로우 곡선에서 큰 차이를 관찰할 수 없었으나, 24시간 경과한 TLD 그룹의 경우, 특히 단 반감기 피크 쪽에서는 자기장 노출로 인한 변화를 확인할 수 있었다. [그림 2]에는 기준조사 후 24시간 경과한 TLD 그룹의 대표 글로우 곡선을 나타내었다.

2. TLD 피폭 방사선량 분석

시간적 경과와 자기장 노출 유·무에 따른 결과는 [표 1]과 같다. 이를 세부적으로 살펴보면, 변동계수(CV)는 모두 10% 이내로 실험의 재현성이 확보됨을 확인할 수 있었으며, 기준조사 후 자기장 노출 환경에서 4주 경과한 TLD 그룹의 변동계수(CV)가 10개의 그룹 중 가장 큰 값(8.16%)으로 나타났다. TLD 피폭 방사선량의 경우, 기준조사 후 24시간이 경과한 TLD 그룹에서는 자기장에 노출되지 않은 10개의 평균 피폭 방사선량이 15.41 mSv로 나타났으며, 자기장에 노출된 10개의 평균 피폭 방사선량은 14.83 mSv로 10개의 그룹 중 가장 크게 감소하는 것으로 확인되었다. [그림 3]은 시간 경과에 따른 자기장 노출 유·무 환경에서 TLD 평균 피폭 방사선량 분포를 나타내었다.

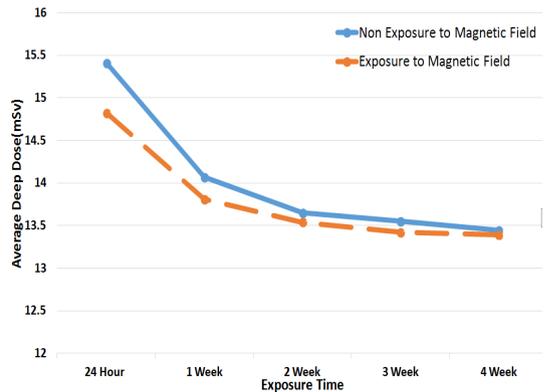


Fig. 3. Dose Variation Curve According to the Time of Exposure/Non-Exposure to Magnetic Field

Table 1. Dose Variation According to the Time of Exposure/Non-Exposure to Magnetic Field

자기장 비노출			자기장 노출		
시간	심부선량 (mSv)	변동계수 (%)	시간	심부선량 (mSv)	변동계수 (%)
24시간	15.41	4.68	24 Hour	14.83	1.56
1주	14.07	1.37	1 Week	13.81	3.60
2주	13.65	2.67	2 Week	13.54	3.32
3주	13.55	4.59	3 Week	13.42	4.92
4주	13.44	7.36	4 Week	13.40	8.16

3. 자기장 노출 유·무에 따른 TLD 피폭 방사선량 평가

자기장 노출 유·무에 따른 TLD 피폭 방사선량 평가를 위해 독립 t-검정을 적용하였다. 그 결과, 기준조사 후 자기장 노출 유·무 환경에서 24시간 경과한 TLD 그룹에서만 유의 확률(Significance Probability)이 0.05에서 통계적 차이를 나타냈다. 이는 기준조사 후 24시간 동안 자기장 노출 유·무에 따라 TLD 피폭 방사선량의 차이가 있는 것으로 해석 할 수 있다. [표 2]에 기준조사 후 자기장 노출 유무 환경에서 24시간 경과한 TLD 그룹의 독립 t-검정 결과를 나타내었다.

Table 2. Results of Independent t-test for Relation between Non-Exposure to Magnetic Field and Exposure to Magnetic Field for 24 hours

자기장 노출 유·무	M	SD	Levene의 등분산 검정		t	df	p
			F	p			
자기장 비노출	15.413	0.719	3.121	0.094	2.453	18	0.032
자기장 노출	14.827	0.230					

M : 평균, SD : 표준편차, F : F-검정 값, p : 확률 값 t : t-검정값, df : 자유도

4. 시간 경과에 따른 TLD 피폭 방사선량 평가

시간적 경과에 따른 TLD 피폭 방사선량 평가를 위해 일원 반복측정 분산분석 방법을 적용하였다. 그 결과, 자기장에 노출되지 않은 TLD 그룹 및 자기장에 노출된 TLD 그룹에서 유의 확률(Significance Probability)

이 0.05에서 통계적 차이를 나타냈다. 이는 시간적 경과에 의해 TLD 피폭 방사선량의 차이가 있는 것으로 해석 할 수 있다. [표 3-6]에 시간적 경과에 따른 TLD 그룹의 일원 반복측정 분산분석 결과 및 사후 검정을 나타내었다.

Table 3. Results of one way repeated ANOVA test for Exposure time (Non-Exposure to Magnetic Field)

효과	값	F	가설 자유도	오차 자유도	p	
시간	Wilks의 람다	0.096	14.136	4.000	6.000	0.003

F : F-검정 값, p : 확률 값

Table 4. Dunnett' s test Results of one way repeated ANOVA test for Exposure time (Non-Exposure to Magnetic Field)

시간 (I)	시간 (J)	평균차 (I-J)	표준오차	유의 확률
1주	24시간	-1.3410	0.23375	0.000
2주	24시간	-1.7620	0.23375	0.000
3주	24시간	-1.8620	0.23375	0.000
4주	24시간	-1.9690	0.23375	0.000

Table 5. Results of one way repeated ANOVA test for Exposure time (Exposure to Magnetic Field)

효과	값	F	가설 자유도	오차 자유도	p	
시간	Wilks의 람다	0.028	51.846	4.000	6.000	0.000

F : F-검정 값, p : 확률 값

Table 6. Dunnett' s test Results of one way repeated ANOVA test for Exposure time (Exposure to Magnetic Field)

시간 (I)	시간 (J)	평균차 (I-J)	표준오차	유의 확률
1주	24시간	-1.0190	0.30959	0.008
2주	24시간	-1.2860	0.30959	0.001
3주	24시간	-1.4030	0.30959	0.000
4주	24시간	-1.4320	0.30959	0.000

5. 시간 및 자기장 노출에 따른 TLD 피폭 방사선량평가

마지막으로 시간 및 자기장 노출에 의한 상호작용과 TLD 피폭 방사선량의 차이를 확인하기 위해 이원 반복측정 분산분석 방법을 적용하였다. 그 결과, 유의 확률(Significance Probability)이 0.05에서 통계적 차이를 나타내지 않았다. 이에 따라 TLD 피폭 방사선량은 시간과 자기장 노출에 의한 상호작용 효과가 없음을 확인할 수 있었다. [표 7]에 시간과 자기장 노출 유·무에 TLD 그룹의 이원 반복측정 분산분석 결과를 나타내었다.

Table 7. Results of two way repeated ANOVA test for Relation between Exposure to Magnetic Field and Exposure time

효과	값	F	가설 자유도	오차 자유도	p
시간*자기장 Wilks의 람다	0.809	0.883	4.000	15.000	0.498

F : F-검정 값, p : 확률 값

IV. 고찰

본 연구에서는 시간 경과와 자기장 노출 유·무 환경에서 TLD 피폭 방사선량의 차이를 확인하고자 글로우 곡선 및 피폭 방사선량 분석과 함께 SPSS를 이용한 독립 t-검정(Independent t-test), 일원 반복측정 분산분석 방법, 이원 반복측정 분산분석방법 등의 통계분석 기법을 수행하였다.

먼저 TLD 글로우 곡선 및 피폭 방사선량 분석 결과, 기준조사 후 자기장 노출 유·무 환경에서 24시간 경과한 TLD 그룹 내에서만 자기장 노출로 인한 TLD 글로우 곡선 및 피폭 방사선량이 나머지 그룹보다 가장 크게 감소하는 경향을 관찰할 수 있었으며, 독립 t-검정 수행 결과에서도 역시 기준조사 후 24시간 동안 자기장 노출 유·무에 따라 TLD 피폭 방사선량의 차이가 있음을 확인하였다. 이러한 결과를 토대로 TLD의 여러 발광피크들 가운데 단 반감기 피크의 경우 상온에서의 열 자극 뿐만 아니라 자기장에도 영향을 받을 수 있는 것

으로 판단되어진다. 기존 연구에서는 자기장 노출 시간 등 여러 가지 실험환경의 차이로 인해 TLD 피폭 방사선량의 변화 정도를 다르게 나타내고 있으며[14][15], 또한 선량계의 종류에 따라라도 여러 가지 오차가 발생할 수 있다고 언급하고 있다[16].

다음으로 시간적 경과에 따른 TLD 피폭 방사선량의 변화를 확인하기 위한 일원 반복측정 분산분석 수행 결과 자기장에 노출되지 않은 그룹 및 자기장에 노출된 TLD 그룹 모두 시간적 경과에 의해 TLD 피폭 방사선량의 차이가 있음을 확인할 수 있었으며, 사후 검정 결과 시간이 경과함에 따라 피폭 방사선량이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 TLD의 잠상퇴행(Fading) 효과로 인해 발생된 것으로 추론된다.

마지막으로 시간 및 자기장 노출에 의한 상호작용과 TLD 피폭 방사선량의 변화를 확인하기 위한 글로우 곡선 및 이원 반복측정 분산분석 수행 결과, TLD에 대한 시간과 자기장 노출에 의한 상호작용 효과는 없는 것으로 확인되었다.

이번 연구는 기준조사 후 시간경과(24시간, 1주, 2주, 3주, 4주) 및 1.5 Tesla의 자기장 노출 유·무에 따른 TLD 피폭 방사선량 분석방법에 있어서 PET-MRI를 다루는 방사선 작업 종사자가 위치하는 곳의 자기장 세기 및 노출시간을 고려하지 않았으므로, 실제 방사선 작업 종사자 피폭관리 측면에서는 부족한 면이 있다고 사료된다. 그러나 본 연구를 통해 시간 경과에 따른 자기장 노출 유·무 환경에서 TLD의 경향성을 분석함으로써, 자기장에 따른 피폭 방사선량 평가를 위한 기초적인 자료를 제공한다는 것에 의미가 있다. 향후 본 연구를 토대로 단기간 및 거리에 따른 자기장 노출 유·무 환경에서의 TLD 피폭 방사선량 변화 정도 분석이 필요할 것으로 판단된다.

V. 결론

시간 경과에 따른 자기장 노출 유·무 환경에서 TLD 글로우 곡선 및 피폭 방사선량 변화 정도를 분석한 결과, 기준조사 후 자기장 노출 유·무 환경에서 24시간 경과한 TLD 그룹 내에서만 TLD 글로우 곡선 및 피폭 방

사선량의 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 PET-MRI실에서 근무하는 방사선 작업 종사자가 개인 피폭선량계로 TLD를 사용하는 경우, 정기 판독주기(3개월 이내)에 맞게 TLD 판독 시 자기장 노출로 인한 실제 피폭 방사선량과의 차이는 크게 없을 것으로 판단되어진다. 그러나 특별한 사유로 인해 정기 판독이 아닌 중간 판독(1주 이내)을 수행하였을 경우, 실제 피폭 방사선량보다 낮은 피폭선량 값을 나타낼 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] 박혜민, “소형 반도체 센서 기반 무선 방사선 모니터링 시스템,” 대한방사선방어학회 춘계학술발표회 논문요약집, 제7권, 제1호, pp.286-287, 2014.
- [2] 원자력안전위원회, 원자력안전위원회고시 제 2014-69호 제3조(선량계의 구분), 2014.
- [3] 강수만, “방사선치료 선량 측정에 사용되는 열형광체에 따른 최대 형광 강도 특성,” 한국방사선학회 논문지, 제8권, 제4호, pp.181-187, 2014.
- [4] 장인수, “²⁵²Cf 중성자장에서 열형광선량계(TLD)를 이용한 중성자 방사선량 측정,” 대한방사선방어학회지, 제38권, 제1호, pp.37-43, 2013.
- [5] 최재호, “DAP(Dose Area Product)를 이용한 TLD와 PLD의 선량 측정 비교,” 한국콘텐츠학회 논문지, 제12권, 제3호, pp.244-250, 2012.
- [6] 이정일, “Harshaw TLD LiF:Mg,Ti의 Fading 특성,” 피폭방사선량 평가에 관한 워크샵, 제16권, 제5호, pp.33-34, 2012.
- [7] 강인석, “방사선 개인피폭선량계를 이용한 피폭선량 측정 및 유용성 평가,” 한국콘텐츠학회논문지, 제14권, 제11호, pp.864-870, 2014.
- [8] 이왕희, “광자극발광선량계와 열형광선량계를 이용한 핵의학과 선량 비교,” 한국콘텐츠학회논문지, 제12권, 제12호, pp.329-334, 2012.
- [9] 박정규, “F-18 FDG PET/MRI와 PET/CT 전신 영상에서 VOI를 이용한 정상부위의 SUV LBM 최대치에 의한 영상평가,” 한국의학물리학회지, 제24권, 제1호, pp.68-75, 2013.
- [10] 김재일, “인체 각 부위의 PET/MRI와 PET/CT의 SUV 변화,” 핵의학기술, 제17권, 제2호, pp.10-14, 2013.
- [11] 김정수, “두경부암 림프절 전이 평가에서 PET-MRI의 임상적 유용성,” 핵의학기술, 제18권, 제1호, pp.26-32, 2014.
- [12] 김재일, “PET/MRI에 있어 MRI 조영제가 PET에 미치는 영향,” 핵의학기술, 제18권, 제1호, pp.19-25, 2014.
- [13] Katarzyna Matusiak, “THE INFLUENCE OF PRE-AND POST-IRRADIATION ANNEALING ON LiF:Mg,Cu,P STABILITY,” Radiat Prot Dosimetry, pp.1-5, 2015.
- [14] 제재용, “자기장이 열형광선량계의 글로우 곡선에 미치는 영향,” 한국방사선학회 논문지, 제7권, 제6호, pp.415-418, 2013.
- [15] 제재용, “자기공명영상장비에서 열형광선량계의 선량 변화,” 한국방사선학회 논문지, 제6권, 제6호, pp.473-476, 2012.
- [16] M. Mathis, “Effects of a strong magnetic field on selected radiation dosimeters,” Combined Scientific Meeting, R-0175, 2014.
- [17] 이병일, “전자개인선량계(EPD)의 외부피폭방사선량 평가 성능분석,” 대한방사선방어학회지, 제40권, 제4호, pp.261-266, 2015.
- [18] 김희근, “원전 계획예방정비기간 고피폭 접촉작업에서 방사선작업종사자의 말단선량 평가 현장 시험,” 방사선방어학회지, 제35권, 제2호, pp.57-62, 2010.
- [19] 이영주, “A METHOD TO MINIMISE THE FADING EFFECTS OF LiF:Mg,Ti (TLD-600 and TLD-700) USING A PRE-HEAT TECHNIQUE,” Radiation Protection Dosimetry, Vol.164, No.3, pp.449-455, 2015.
- [20] 이영주, “LiF:Mg,Ti TLD의 판독조건(TTP, Time Temperature Profile)에 따른 잠상퇴행(Fading error) 비교시험 결과,” 대한방사선방어학회 춘계 학술발표회 논문요약집, 제7권, 제6호, No.6,

pp.212-213, 2015.

[21] Model 6600 PLUS Automated TLD Reader with WinREMSTM operator's Manual, Thermo Electron Corporation, 2005.

[22] WinAlgorithms : Dose calculation algorithm for types 8805, 8810, 8814 and 8815 dosimeters (ALGM-W05-U-0903-001), Thermo Electron Corporation, 2003.

저 자 소 개

이 재 현(Jae-Heon Lee)

준회원



- 2011년 7월 ~ 현재 : 한국수력원자력(주) 고리원자력본부 신고리 제1발전소 방사선안전팀
- 2012년 2월 : 부산가톨릭대학교 방사선학과(학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 방사선학과(석사과정)

<관심분야> : 체·내외 피폭방사선량 평가

고 성 진(Seong-Jin Ko)

정회원



- 1997년 8월 : 경성대학교 생물학과(이학박사)
- 1982년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 방사선학과 교수

<관심분야> : 방사선생물학, 방사선계측학

김 정 훈(Jung-Hoon Kim)

정회원



- 2003년 2월 : 경희대학교 원자력공학과(공학석사)
- 2007년 2월 : 경희대학교 원자력공학과(공학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 방사선학과 부교수

<관심분야> : 방사선량 평가, 문항개발 및 분석