

다중소자 열형광선량계에 의한 수정체 등가선량 평가의 적정성 연구

이나래*, 한승재*·†, 이병일†, 조건우*·†

*과학기술연합대학원대학교, †한국원자력안전기술원, ‡방사선보건연구원

2012년 4월 4일 접수 / 2012년 5월 11일 1차 수정 / 2012년 6월 4일 2차 수정 / 2012년 6월 5일 채택

2011년 국제방사선방호위원회(ICRP)는 최근 역학 조사들을 근거로 방사선영향으로 발생할 수 있는 암 외 질환의 위험에 대한 권고를 개정하였다. 특히 수정체 조직반응의 발단선량을 0.5 Gy로 하향 조정하면서, 계획 피폭상황에서 직무 피폭 시 수정체 등가선량한도를 “정해진 5년 기간 동안 평균해서 연간 20 mSv, 그 중 어느 한 해에도 50 mSv를 초과하지 않아야 한다”로 권고하였다. 방사선작업종사자의 외부선량은 개인 열형광선량계(TLD)를 사용하여 감시하고 있으며 관독한 열형광소자별 반응도를 선량평가 알고리즘에 적용하면 개인의 수정체 등가선량을 구할 수 있다. 본 논문에서는 성능검사에 사용된 Harshaw TLD의 소자반응도를 사용하여 현재 사용 중인 알고리즘들에 의한 수정체 등가선량을 평가하였다. 그 결과 성능검사에 사용된 TLD의 소자반응도를 사용하여 수정체 등가선량을 평가한 경우 알고리즘 간의 상대오차는 최대 48.84% 내에 있는 것으로 나타났다.

중심어: ICRP 권고, 수정체 등가선량, TLD, 선량평가 알고리즘

1. 서론

국내 원자력안전법 시행령 제2조 5의 별표 1 [1]에 따르면 방사선작업종사자의 눈의 수정체에 대한 등가선량 한도를 연간 150 mSv로 설정하고 있다. 2007년 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)의 103 권고[2]에서는 눈의 방사선 민감성에 대한 새로운 데이터가 도출될 것을 예고하였으며 그에 따라 수정체 등가선량한도의 관점에서 중요성을 재검토할 것이라고 언급하였다. 2011년 4월 ICRP에서 발표한 조직반응에 대한 성명서(statement on tissue reactions)[3]에서 장기간의 관찰과 최근 가용한 역학 조사들의 결과를 통해 수정체 조직반응의 문턱선량(threshold dose)을 0.5 Gy로 낮추었고, 수정체 등가선량한도를 “정해진 5년 기간 동안 평균해서 연간 20 mSv, 그 중 어느 한 해에도 50 mSv를 초과하지 않아야 한다”로 하향 조정하여 권고하였다. 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)의 기본안전기준(Basic Safety Standards, BSS) 2011년 개정판[4]에서도 ICRP의 조직반응에 대한 성명서를 통해 발표된 내용을 수용하여 직무 피폭과 일반인 피폭에 있어 수정체 등가선량한도를 “각각 연간 20 mSv 및 15 mSv”의 요건으로 제시하였다.

국내 원자력안전법 제97조 1항의 3(피폭관리)[1]에서 방사선작업종사자는 피폭 방사선량 평가를 위해서 열형

광선량계(thermoluminescent dosimeter, TLD), 광자극선량계(optical simulated luminescence, OSL) 및 유리선량계 등의 개인선량계를 패용하여 신체 외부선량을 감시하도록 정하고 있으며 관독업무자는 종사자의 피폭 방사선량을 심부선량과 표층선량으로 구분하여 관독 및 기록하도록 정하고 있다. 수정체 및 손과 발의 등가선량은 법적으로 규제되는 사항이나 유효선량한도 보다 설정치가 매우 높게 설정되어 있어 일반적으로 유효선량한도를 만족시키면 관련 등가선량한도를 만족시킬 것으로 판단하여 조직 등가선량에 대한 개인선량계의 관독 값은 대부분 기록하고 있지 않다. 반면 미국의 경우 에너지성(Department of Energy, DOE) 및 원자력규제위원회(Nuclear Regulation Commission, NRC)는 관련 방사선작업종사자의 심부선량당량(DDE), 표층선량당량(SDE), 수정체선량당량(LDE), 예탁유효선량당량(CEDE) 및 총 유효선량당량(TEDE)을 평가하여 기록, 보관하고 있다[5]. 따라서 국제적인 수정체 등가선량의 저감추이에 비추어 국내에서도 수정체 등가선량을 정확하게 평가하기 위한 연구가 필요하다.

수정체 등가선량은 외부피폭을 감시하기 위한 방법으로 일반적으로 사용되는 TLD의 소자반응도를 선량평가 알고리즘에 적용하여 평가할 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는 현재 상용 중인 Harshaw 관독시스템의 선량평가 알고리즘으로부터 수정체 등가선량을 계산하기 위한 모듈을 분리하여 프로그램을 작성하였으며 입력자료는 성능검사에 사용된 Harshaw 다중소자 TLD의 소자반응도

책임저자 : 이나래, s146lnr@kins.re.kr
대전광역시 유성구 과학로 62 한국원자력안전기술원 연구총괄실

를 활용하였다. 서로 다른 선량평가 알고리즘들로 평가한 수정체 등가선량을 분석하고 그 값들이 가지는 상대오차 범위를 살펴보았다.

2. 재료와 방법

2.1. 수정체 등가선량

국제방사선단위측정위원회(International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU) 보고서 51[6]에 따르면 약 투과성 방사선에 대해 눈의 수정체에 대한 선량당량은 3 mm 깊이에서 평가된 선량, 즉 $H_p(3)$ 으로 정의하고 있다. 한편 수정체 등가선량을 표층선량인 $H_p(0.07)$ 으로 평가해도 피폭 감시를 충분히 달성할 수 있다는 견해가 있다[2,7]. 하지만 최근의 연구에 따르면 $H_p(0.07)_{slab}$ 으로 수정체 등가선량을 감시하는 것은 광자선장에서는 적절할 수 있지만 1 MeV 이하의 베타선장 또는 광자/베타 혼합선장에서는 수정체 등가선량을 핵종에 따라 최대 550배까지 과대평가할 수 있고 1 MeV 이상의 베타선장 또는 광자/베타 혼합선장에서는 과소평가할 수 있으므로 수정체 조직의 위해를 나타내기 위해서는 $H_p(3)$ 가 적절하다는 보고가 있다[8,9].

개인의 안구 3 mm 깊이에서 수정체 등가선량을 직접 측정하는 것이 불가능하므로 실제 측정할 수 있는 플루언스(fluence), 커마(KERMA)등의 값에서 수정체 등가선량을 구하기 위한 선량환산계수(dose conversion coefficient)가 요구되며 선량환산계수를 평가하기 위해서는 적절한 인체모형 팬텀과 MCNP코드(Monte Carlo n-particle transport code)를 사용해야 한다[10]. 일반적으로 외부피폭선량 $H_p(d)$ 은 광자선장에서 그림 1의 (A)와 같이 인체를 대신하는 30×30×15 cm³ 크기의 PMMA 슬랩팬텀(polymethyl methacrylate slab phantom)의 해당 장기

깊이 d mm에서 식 (1)에 따라 결정된다.

$$H_p(d, \alpha) = \overline{C_{k, \alpha}} K_a \quad (1)$$

여기서,

$\overline{C_{k, \alpha}}$: 해당 선량환산계수(Sv/Gy)

K_a : 팬텀 표면 중심의 위치에서 팬텀 없이 이온전리함에 의해 측정된 공기커마(Gy)

베타선장에 대한 $H_p(d)$ 은 그림 1의 (B)와 같이 외삽형 이온전리함에 의해 측정된 흡수선량 $D_p(d)$ Gy로 결정된다. 즉 $H_p(d) = D_p(d)$ 으로 주어진다. 수정체 등가선량의 환산계수는 ISO 12794 [12], ICRP 74 [13]등에서 다루고 있으나 각각 제시하는 값은 상이하며 표 1과 같다. 한편 ICRU 및 ISO에서 선량환산계수를 평가하기 위해서 사용한 팬텀은 인체의 몸통(trunk)을 대표하는 슬랩팬텀이며 이는 실제 인체의 두부로 간주하기에는 차이가 있다. 근래 EC (European Commission)에서는 ORAMED(Optimization of RAdiation protection for MEDical staff)를 발족하여 수정체 등가선량 성능검사를 위해 사용되는 슬랩팬텀은 상대적으로 크기가 커 후방산란이 커질 수 있고, $H_p(3)/K_a$ 의 환산계수가 $H_{p,ens}/K_a$ 의 환산계수와 실제로 일치하지 않는 점 및 직육면체 테두리에서 발생할 수 있는 입사각의존성 반응을 고려하여 실제 수정체가 위치한 두부와 비슷한 원통형팬텀(cylindrical phantom)을 사용할 것을 제안하고 있다[14]. 하지만 원통형팬텀은 아직까지 실용화되지 않았으며 연구가 더 필요한 단계이다. 그리고 수정체 등가선량에 대한 성능검사의 기준(performance criteria)은 국내 및 해외에서도 시행되지 않고 있으며 특히 국내 원자력안전법에서는 수정체 등가선량의 기록체제를 따로 다루고 있지 않는 실정이다.

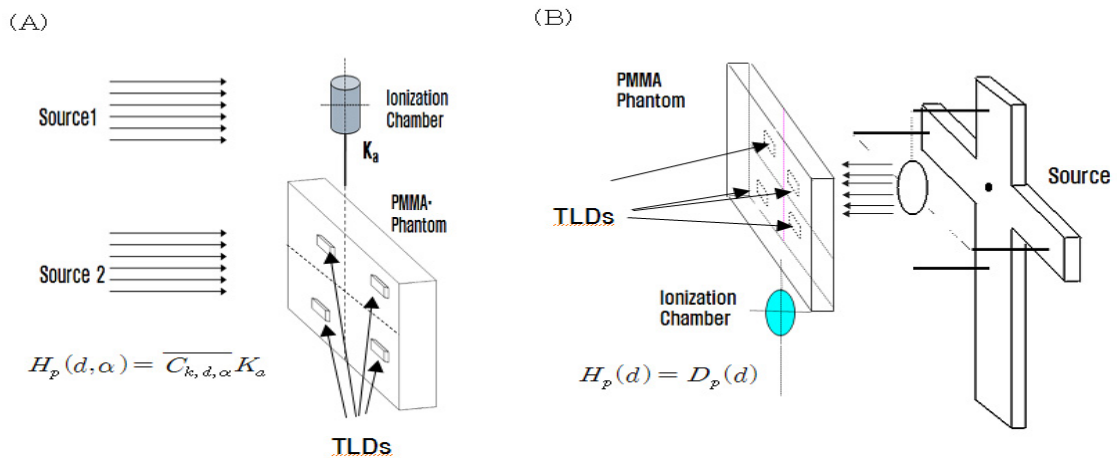


Fig 1. Schematic diagram of the calibration set-up of TLD system for external dose measurement (A) photon, (B) beta particles [11].

Table 1. Dose Conversion Coefficients of Lens of Eye Dose for Photons and Beta with Energies from ISO 12794 and ICRP 74.

Category	Energy	Conversion Coefficients for Lens of Eye, $\overline{C}_{k,e}$ (Sv/Gy)	
		ISO 12794	ICRP 74
Photons	15 keV	0.683	0.664
	30 keV	1.223	1.197
	40 keV	1.496	1.334
	80 keV	1.809	1.55
	100 keV	1.743	1.53
	¹³⁷ Cs	1.226	-
	⁶⁰ Co	1.182	-
Beta	⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y	0.6	-
	²⁰⁴ Tl	-	-

2.2 다중소자 열형광선량계

국내에서 사용하고 있는 다중소자 TLD 시스템은 제작사에 따라 Harshaw TLD 시스템과 Panasonic TLD 시스템 2가지 형태이다. 본 실험에서는 Harshaw사의 TLD 중 8814 type을 사용하였다. Harshaw 8814 TLD는 8805 선량계 그룹에 속하며 4개의 열형광소자(TL element)로 구성되어 있다. 그림 2는 본 실험에서 사용한 Harshaw 8814 TLD 소자의 구성물질 및 필터에 대한 설명이다. 열형광소자를 구성하는 물질은 조직등가물질인 불화리튬(LiF:Mg, Tl)으로 Li의 농도에 따라 TLD-600, TLD-700의 형태로 구분할 수 있다. Harshaw 8814 TLD의 1, 2, 3번에 위치한 열형광소자는 Li-6의 농도 0.01%로 구성된 TLD-700으로 감마선을 측정할 수 있으며 4번에 위치한 열형광소자는 Li-6의 농도 95.6%로 구성된 TLD-600으로 열중성자를 측정할 수 있다. 또한 각각 다른 4개 영역별 필터의 재질 및 두께의 차이를 이용하면 피폭된 방사선의 종류 및 방사선의 에너지를 판별하여 평가할 수 있다.

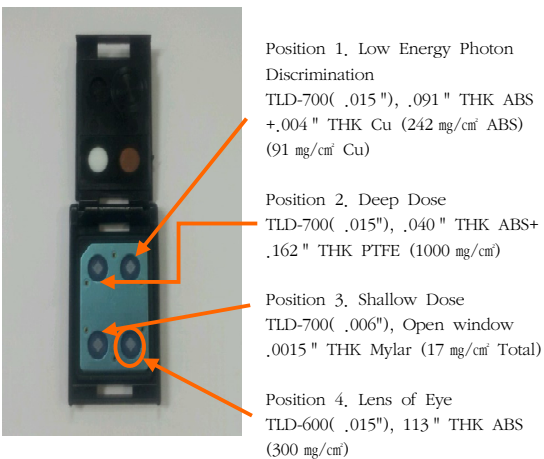


Fig. 2. The specific TL materials and filters of Harshaw 8814 TLD badge.

2.3 선량평가 알고리즘

선량평가 알고리즘이란 TLD 4개 영역(position)의 다양한 두께의 필터를 통한 방사선에 대한 소자반응도(L1,L2,L3,L4)간의 비(ratio)를 이용하여 방사선장 및 에너지를 구분하고 각각의 방사선장에 해당하는 선량교정인자(dose calibration factor)를 고려하여 계산 시 개인이 노출된 심부선량, 표층선량, 중성자 선량, 수정체 등가선량을 평가할 수 있는 전산 프로그램이다.

현재 국내에서 상용 중인 Harshaw TLD 관독 시스템의 선량평가 알고리즘은 각각 1993년 개발된 DOELAP 알고리즘[15]과 2003년에 개발된 WIN 알고리즘[16]이 있다. DOELAP 알고리즘은 의사결정나무(decision tree)형태의 알고리즘으로 DOS 운영체제를 사용하고 있으며 WIN 알고리즘은 신경망(neural network)형태 알고리즘으로 WINDOW 운영체제를 사용하는 것이 특징이다. 또한, DOELAP 알고리즘은 1986년 판의 DOE/EH-0027의 성능기준[17]을 만족하도록 고안되었고, WIN 알고리즘은 2001년 판의 ANSI N13.11의 성능기준[18]의 요구를 만족시키도록 설계되었다. 이러한 알고리즘의 형태 및 기준의 차이로 알고리즘별로 구분되는 방사선장 및 에너지를 평가하기 위해 사용되는 소자반응도의 비, 선량계산 시 사용되는 선량교정인자들은 각각 차이가 있다. 그리고 수정체 등가선량을 평가하는 방식도 알고리즘 간에 차이가 있어 DOELAP 알고리즘은 중성자가 존재하는 경우, 중성자가 존재하지 않는 경우로 구분하여 수정체 등가선량(H_e)을 평가하며 각각 식 (2) 및 식 (3)에 따라 계산된다. WIN 알고리즘은 중성자의 존재와 상관없이 식 (4)이 사용된다.

$$H_e = (L2 - L1) / (r_2 * TC2 / 1.03), \text{ only beta particles}$$

$$H_e = L2 / (r_2 * TC2 / 1.03), \text{ H\&MEPH, photons} \quad (2)$$

$$H_e = (L4 - L1) / (r_4 * TC4 / 1.03), \text{ only beta particles, H\&MEPB}$$

$$H_e = L4 / (r_4 * TC4 / 1.03), \text{ H\&MEPH, LEPB and photons} \quad (3)$$

$$H_c = L2^* r_e \quad (4)$$

여기서,

- H_c : TL 반응도에 의한 수정체 등가선량(mSv)
- L_i : 초기 소자반응도 (L_i)를 정규화 및 변형시킨 입력값
- r_2 : DOELAP 알고리즘에서 중성자 존재 시 수정체 선량교정인자
- r_4 : DOELAP 알고리즘에서 중성자가 존재하지 않을 시 수정체 선량교정인자
- r_e : WIN 알고리즘에서 수정체 선량교정인자
- $TC2, TC4$: ^{137}Cs 에 대한 2번 소자 및 4번 소자의 상대 반응도(gU/R 또는 gU/mSv)
- H&MEPH : 고에너지 및 중간에너지 광자선장 photons : 다양한 에너지대의 광자선장
- H&MEPB : 고에너지 및 중간에너지 광자/베타 혼합방사선장
- LEPB : 저에너지 광자/베타 혼합방사선장

2.4 입력 자료 및 수정체 등가선량 평가 프로그램 작성

본 실험에서는 DOELAP 알고리즘 및 WIN 알고리즘을 분석하여 실험에 필요한 피폭 방사선장 및 수정체 등가선량을 평가하기 위한 모듈을 분리한 프로그램을 작성하였다. 프로그램의 source file은 Visual C++를 이용하여 TLD 관독 raw data의 입력력이 용이하도록 작성하였다. 작성한 프로그램의 정확도는 실제 관독기관이 평가한 관독값을 기준으로 비교 시 상대오차는 0.1%로 확인하였다.

본 실험에 사용된 입력 자료는 실제 성능검사에 사용된 TLD 소자반응도이며 표 2로 나타내었다.

Table 2. TL Data Input to Algorithm.

TLD No.	L1	L2	L3	L4
1	0.273	2.045	11.011	3.368
2	0.543	6.671	40.358	11.455
3	0.137	0.431	1.915	0.613
4	0.686	5.643	31.528	9.103
5	0.199	1.316	7.916	2.332
6	6.943	10.175	27.289	12.950
7	8.552	11.402	27.775	14.072
8	7.096	8.543	15.998	10.272
9	7.837	8.666	12.224	10.267

표 3은 성능검사에 사용된 베타선장 및 광자/베타 혼합 방사선장의 기준선량, 관독선량, 성능지수를 나타내고 있으며 이는 성능기준을 만족한다.

작성된 프로그램 및 입력 자료로 계산된 WIN 알고리즘의 수정체 등가선량 및 DOELAP 알고리즘의 수정체 등가선량을 식 (5)를 이용하여 비교하였다.

$$Lens_{Rel} = \frac{Lens_{WIN} - Lens_{DOELAP}}{Lens_{WIN}} \times 100(\%) \quad (5)$$

여기서,

$Lens_{WIN}$: WIN 알고리즘에 의해 평가된 수정체 등가선량(mSv)

$Lens_{DOELAP}$: DOELAP 알고리즘에 의해 평가된 수정체 등가선량(mSv)

$Lens_{Rel}$: WIN 알고리즘에 의해 평가된 수정체 등가선량에 대한 DOELAP 알고리즘에 의해 평가된 수정체 등가선량의 상대오차

Table 3. Performance Testing Results from Beta and Photon Mixed with Beta Fields.

TLD No.	Radiation Field	Deep dose (mSv)			Shallow dose (mSv)		
		H_i (Delivered)	H'_i (Reported)	Pi*	H_i (Delivered)	H'_i (Reported)	Pi*
1	Beta	-	-	-	10.19	10.24	0.005
2	Beta	-	-	-	35.3	37.53	0.063
3	Beta	-	-	-	1.6	1.78	0.113
4	Beta	-	-	-	28.04	29.32	0.046
5	Beta	-	-	-	6.59	7.36	0.117
6	Beta+Photons	7.01	5.79	-0.174	27.28	23.98	-0.121
7	Beta+Photons	8.85	6.31	-0.286	25.57	23.16	-0.094
8	Beta+Photons	7.31	6.31	-0.136	16.42	13.78	-0.161
9	Beta+Photons	8.47	7.83	-0.074	12.68	11.16	-0.120

* : Performance coefficient, $P_i = (H'_i - H_i) / H_i$

For beta field $B=0.07$, $S=0.05$ and $|B|+S=0.12$ of shallow dose. For photon with mixed beta field, $B=-0.17$, $S=0.09$ and $|B|+S=0.26$ of deep dose, $B=-0.12$, $S=0.03$ and $|B|+S=0.15$ of shallow dose.

(Bias(B): $B \equiv \bar{P} = (1/n) \sum_{i=1}^n P_i$, Standard deviation(S): $S = [\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 / (n-1)]^{1/2}$)

Table 4. Comparison of Lens of Eye Doses and Their Radiation Fields Calculated by DOELAP Algorithm and WIN Algorithm.

TLD No.	Radiation Type		Lens Dose Equivalent (mSv)		Relative Error (%)
	WIN	DOELAP	WIN	DOELAP	
1	Beta	Beta	4.09	3.16	22.74
2	Beta	Beta	13.34	11.14	16.49
3	Beta	LEPB*	0.86	0.44	48.84
4	Beta	Beta	11.29	8.60	23.82
5	Beta	Beta	2.63	2.18	17.11
6	Beta+Photons	LEPB*	13.61	9.20	32.41
7	Beta+Photons	H&MEPB†	13.99	13.81	1.29
8	Beta+Photons	H&MEPB†	9.69	10.02	-3.41
9	Beta+Photons	Photons	9.12	7.58	16.84

* : Low energy photons mixed with beta

† : High and Intermediate energy photons mixed with beta.

3. 결과 및 토의

표 4는 성능검사에 사용된 TLD 관독값 중 베타선장 및 광자/베타 혼합선장의 데이터를 각각의 알고리즘으로 평가한 결과로 방사선장, 수정체 등가선량 및 두 알고리즘으로 평가한 수정체 등가선량의 상대오차를 나타낸다. 본 성능검사에 사용된 베타선장은 ⁹⁰Sr/⁹⁰Y이다.

WIN 알고리즘으로 평가 시 베타선장으로 평가된 데이터들은 DOELAP 알고리즘으로 평가 시 3번 TLD를 제외하고 모두 베타선장으로 일치하였으며 알고리즘 간 수정체 등가선량의 상대오차 범위는 16.49~48.84%에 있었다. 3번 TLD는 DOELAP 알고리즘으로 평가하였을 때 방사선장을 저에너지 광자/베타 혼합방사선장(LEPB)으로 인식하였으며 두 알고리즘 간의 수정체 등가선량의 상대오차는 48.84%로 가장 크게 나타났다.

WIN 알고리즘으로 평가 시 광자/베타 혼합선장으로 평가된 데이터들은 DOELAP 알고리즘에서 9번 TLD를 제외하고 모두 광자/베타 혼합선장으로 일치하였으며 수정체 등가선량의 상대오차 범위는 -3.41~32.41%에 있었다. 9번 TLD는 WIN 알고리즘에서는 광자/베타 혼합선장으로 인식하였지만 DOELAP 알고리즘에서는 방사선장을 광자선장(photons)으로 평가하였다. 또한 6번 TLD는 두 알고리즘 간의 수정체 등가선량의 상대오차가 (32.41%) 광자/베타 혼합선장 데이터 중 가장 큰 값으로 나타났다.

본 연구에서 사용된 기준 베타선장 및 광자/베타 혼합선장의 성능검사 TLD 관독값들은 대체로 WIN 알고리즘이 DOELAP 알고리즘과 비교하였을 때 수정체 등가선량을 높게 평가하는 것으로 확인되었다. 성능검사에 사용된 베타선장 및 광자/베타 혼합선장의 알고리즘으로 평가된 수정체 등가선량의 상대오차 분포는 그림 3과 같다.

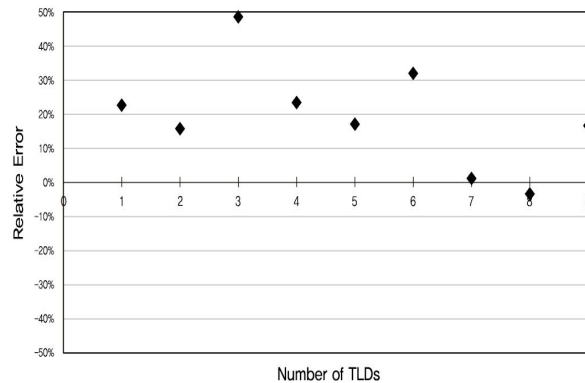


Fig 3. Relative errors of lens of eye doses calculated by DOELAP algorithm and WIN algorithm.

4. 결론

최근 수정체 등가선량한도를 하향 조정함에 따라 적절한 수정체 등가선량 평가가 필요 할 것이며 본 논문에서는 그 방법으로 현재 사용하고 있는 열형광선량계의 선량 평가 알고리즘으로 수정체 등가선량을 산출하여 비교하였다. 이를 위해 성능검사에 사용된 Harshaw 8814 TLD의 소자반응도를 입력 자료로 사용하여 현재 사용 중인 DOELAP 알고리즘과 WIN 알고리즘으로 수정체 등가선량을 평가하였으며 두 알고리즘 간의 상대오차를 확인하였다.

그 결과 최소 -3.41%에서 최대 48.84% 오차 범위에 있는 것으로 나타났다. 개인선량계에 의한 심부 및 표층선량의 국내 성능검사 합격기준이 ± 50% 내에서 평가되고 있기 때문에 새로운 선량평가 모듈이 개발되기 전까지는 현재의 선량평가 알고리즘으로 수정체 등가선량 평가하여도 가능할 것으로 판단된다. 그러나 2000년 이후 국제적으로 개인선량계의 성능검사의 합격기준을 ± 30% 이

내로 낮추어 정확성을 높이고 있기 때문에 48.84%의 범위는 비교적 높은 값에 속한다. 따라서 수정체 선량을 보다 정확하게 평가하기 위해서는 수정체의 위치 및 물성을 고려한 새로운 팬텀, 중성자를 포함하는 다양한 방사선장을 이용한 기준조사 및 수정체 등가선량을 고려해서 현재 사용하는 알고리즘을 개선, 보완해야 할 필요가 있다. 아직까지 국제적으로 수정체 등가선량을 평가하는 절차가 마련되지 않았으므로 수정체 등가선량을 적절히 평가할 수 있는 규정된 선량환산계수 및 성능검사 기준을 국제단위의 협의를 통해 수립되어야 할 것이다. 또한 수정체 등가선량의 하향조정의 중요성을 감안 시 국내에서도 ICRP 권고에 따라 적절한 수정체 등가선량 평가 방안 및 합리적인 방호 방안을 새롭게 검토해야 할 필요가 있다. 이를 위해 현재 가용한 수정체 등가선량에 관한 정보의 활용과 적절한 기록 및 관리체계를 구축해야 할 것이다.

참고문헌

1. 원자력안전법 시행령. 교육과학기술부. 2011.
2. International Commission on Radiological Protection. 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 103. Oxford; Pergamon Press, 2007.
3. International Commission on Radiological Protection. Statement on Tissue Reactions. June 2011.
4. International Atomic Energy Agency. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards, General Safety Requirements Part3 No. GSR Part3 (Interim). Vienna, 2011.
5. 한국원자력안전기술원. 성능조사 피폭선량 자료 균질성 확보방안 연구. 한국원자력안전기술원. 2010.
6. International Commission on Radiation Units and Measurements. Quantities and unit in radiation protection dosimetry. ICRU Report 51. Bethesda, 1993.
7. International Commission on Radiation Units and Measurements. Fundamental quantities and units for ionizing radiation. ICRU Report 60. Bethesda, 1998.
8. Behrens R, Dietze G, Zankl M. Dose conversion

- coefficients for electron exposure of the human eye lens. Phys. Med. Biol. 2009;54:4069-4087.
9. Behrens R, Dietze G. Monitoring the eye lens: which dose quantity is adequate?. Phys. Med. Biol. 2010;55:4047-4062.
10. Behrens R, Dietze G. Dose conversion coefficients for photon exposure of the human eye lens. Phys. Med. Biol. 2011;56:415-437.
11. 한승재. 외부피폭선량 평가기술. 피폭방사선량 평가 전문교육과정. 2011.
12. International Organization for Standardization. Nuclear energy-radiation protection-individual thermoluminescence dosimeters for extremities and eyes. ISO 12794. Geneva Switzerland. 2000.
13. International Commission on Radiological Protection. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. ICRP Publication 74. Oxford; Pergamon Press, 1995.
14. Gualdrini G. A new cylindrical phantom for eye lens dosimetry development. Radiat. Meas. 2011; 46:1231-1234.
15. Dose calculation algorithm for DOELAP (Harshaw, ALGM-D-U-1293-003). Saint-Gobain/Norton Industrial Ceramics Corporation, 1993.
16. WIN Algorithms : Dose calculation algorithm for types 8805, 8810, 8814 and 8815 dosimeters. (ALGM-W05-U-0903-001). Thermo Electron Corporation, 2003.
17. U.S. Department of Energy. Department of Energy Standards for the performance testing of personnel dosimetry system. DOE/EH-0027. Washington U.S. 1986.
18. American National Standards Institute. American standard personnel dosimetry performance criteria for testing. ANSI N13.11-2001, 2001.

A Feasibility Study on the Lens of Eye Dose Assessment Using the System of Multi-Element TLD

Na-Rae Lee*, Seung-Jae Han^{*,†}, Byung-Il Lee[‡], and Kun-Woo Cho^{*,†}

*University of Science and Technology, [†]Korea Institute of Nuclear Safety,

[‡]Radiation Health Research Institute, KHNP

Abstract - International Commission on Radiological Protection (ICRP) has revised its recommendations concerning the tissue reaction to ionizing radiation in accordance with consideration of the detriment arising from non-cancer effects of radiation on health based on recent epidemiological basis. Particularly, for the lens of the eye, the threshold in absorbed dose revised to be 0.5 Gy, for occupational exposure in planned exposure situation the commission recommended "An equivalent dose limit for the lens of the eye of 20 mSv in a year, averaged over defined periods of 5 years, with no single year exceeding 50 mSv." To monitor the radiation exposure of radiation worker, TLD is typically provided and the lens of eye dose can be assessed by run of dose calculation algorithm with TL element response data. This study is to assess equivalent dose of the lens of eye using the Harshaw TLD system and its two different dose calculation algorithms. The result provides the Harshaw TLD system showed the assessment of the lens of eye dose with 48.84% error range.

Keywords : New ICRP recommendation, Lens of eye dose, TLD, Dose calculation algorithm