

열형광선량계를 이용한 전자선 품질보증 프로그램에 관한 연구

*가톨릭대학교 의과대학 의공학교실, †식품의약품안전청 방사선표준과, ‡경희대학교 의과대학 방사선종양학교실

라정은* · 서태석* · 김귀야† · 정희교† · 신동오†

본 연구에서는 열형광선량계에 대한 전자선에너지 보정인수를 구하여 이온함을 이용한 물 흡수선량과 상호 비교 분석하여 열형광선량계를 이용한 전자선의 품질보증 프로그램을 개발하고자 한다. 열형광물질은 분말형태인 ⁷LiF를 사용하였고 판독기는 Fimel사의 PCL-3 모델을 사용하였으며 전자선 선량측정에 이용되는 홀더는 PMMA 재질로 제작하였다. 열형광선량계는 선형가속기(Varian CL 2100C)에서 방출되는 전자선 에너지 6, 9, 12, 16, 20 MeV를 이용하여 각 에너지에 해당하는 기준값이 z_{ref} 에 위치시켰으며 물 흡수선량 2 Gy가 되도록 조사하였다. 이때 기준선량은 IAEA TRS-398 프로토콜에서 권고하고 있는 절차에 따라 식품의약품안전청에서 교정 받은 Roos형 평행평판형이온함을 사용하여 결정하였다. 열형광선량계의 물 흡수선량을 결정하기 위해 열형광선량계의 교정계수 및 선량 반응도에 대한 보정인수, 퇴색보정인수, 에너지보정인수 등을 산출하였다. 또한 본 연구를 통해 결정된 교정계수 및 각각의 보정인수의 정확도를 검증하기 위해 백지검사(blind test)를 실시하였으며 그 결과, 에너지 9, 16, 20 MeV 전자선에서 상대 표준편차가 각각 2.98%, 3.39% 그리고 0.01%로 나타났다. 이는 전자선의 허용수준인 $\pm 5\%$ 이내 포함되는 결과로 향후 국내 의료기관에서 사용하고 있는 전자선의 출력 선량측정에 대한 주기적인 품질보증을 위해 열형광선량계가 적극 활용될 것으로 기대한다.

중심단어: 열형광선량계, 전자선 선량측정, 품질보증

서 론

의료용 선형가속기에서 방출되는 전자선은 일정한 조직 깊이에만 집중적으로 선량이 부여되기 때문에 정상조직을 보호하면서 종양조직에는 필요한 선량을 충분하게 조사할 수 있어 피부암과 같은 표재성 종양 치료에 매우 효과적으로 이용된다. 그러나 전자선은 광자선에 비해 복잡한 교정 절차와 물리적 특성 때문에 선량측정 및 계산에 오류가 발생할 가능성이 매우 높다. 따라서 전자선을 이용한 방사선 치료 시 성적의 극대화화 및 최적화를 위해 환자에 투여되는 선량에 대한 측정의 정확성이 요구되며 임상에서 전자선의 사용이 증가함에 따라 선량측정방법의 개선과 측정체계의 정확도를 검증할 수 있는 품질보증 프로그램에 대한 연구가 필요하다.

이런 필요성에 의해 국제원자력기구(International Atomic

Energy Agency, IAEA)는 세계보건기구(World Health Organization, WHO)와 함께 1969년부터 개발도상국가의 치료 방사선에 대한 교정확인 및 선량평가를 위해 열형광선량계(thermoluminescence dosimetry, TLD)를 이용한 품질보증 프로그램(IAEA/WHO TLD postal dose quality audit programme)을 시작하였으며 1981년에는 전세계 방사선량치표준연구소(Secondary Standard Dosimetry Laboratories, SSDLs)를 대상으로 확대하여 국제적인 표준선량체계를 제공하고 있다.¹⁾ 또한 유럽방사선종양학회(European Society for Therapeutic Radiology and Oncology, ESTRO)는 IAEA의 지원을 받아 1992년에 EQUAL (ESTRO-Quality Assurance Network)을 조직하여 1999년부터는 전자선에 대해 품질보증 프로그램을 실시하고 있다. 우리나라에서는 2000년부터 이차표준기관인 식품의약품안전청에서 국내 방사선치료기관을 대상으로 ⁶⁰Co 감마선과 고에너지 광자선에 대하여 열형광선량계 이용한 품질보증 프로그램을 실행하고 있다.

따라서 본 연구에서는 IAEA나 ESTRO에서 실시하고 있는 열형광선량계를 이용한 품질보증 프로그램을 기본으로 하여 현재 임상에 실시하고 있는 전자선 선량측정 체계에 대한 정확도를 확인하고 이를 토대로 국내에서 시작 단계인 열형광선량계를 이용한 전자선의 품질보증프로그램에 대한 기술을 확립하고자 한다.

본 연구는 보건복지부 의료기기 기술개발 사업 과제(과제번호: 0405-ER00-0301-0006) 연구비 보조로 수행되었음.

이 논문은 2005년 3월 9일 접수하여 2005년 6월 15일 채택되었음.

책임저자: 서태석, (137-701) 서울시 서초구 반포동 505

가톨릭대학교 의과대학 의공학교실

Tel: 02)590-2414, Fax: 02)590-1779

E-mail: suhsanta@catholic.ac.kr

재료 및 방법

1. 열형광선량계 시스템

본 실험에서는 열형광물질로 ${}^7\text{LiF:Mg,Ti}$ (TLD-700)의 분말을 사용하였다. 이 분말은 유효원자번호 Z_{eff} 가 8.2로 실온에서 연간 5% 이하의 퇴색률(fading)을 갖는다. 열형광물질로 chip이나 rod 대신 분말을 선택한 것은 열형광판독과 교정 유효성에서 높은 정확성을 보였기 때문이다.³⁾ 일반적으로 chip이나 rod 형태의 열형광선량계는 개별적으로 하나씩 교정이 이루어지는데 이 과정에서 기하학적인 모양 등에 영향을 받을 수 있다. 하지만 분말형 선량계는 열처리 후 입자가 잘 혼합하여 균일한 상태에서 교정이 가능하며 판독 전에 무게를 측정하여 이에 대한 오차를 최소화 할 수 있다.

열형광선량계는 감도의 안정성 및 낮은 퇴색률을 유지하기 위해 선량측정에 사용하기 전 열처리를 수행해야 한다. 열처리 과정은 400°C 오븐에서 1시간, 80°C 건조기에서 24시간 순으로 수행하였다. 또한 열형광분말의 선량적 특성은 입자 크기와 균일성에 밀접하게 관련되므로 열처리가 끝난 후 크기가 다른 두 개의 체를 이용하여 200 μm 이상, 80 μm 이하의 입자를 제거하였으며 0.29%의 정확도를 가지는 수동분배기(dispenser)를 이용하여 약 160 mg 정도를 캡슐에 담아 선량측정에 사용하였다. 이때 열형광선량계의 캡슐은 IAEA에서 사용하는 것과 동일한 것으로 벽두께는 1 mm, 캡슐 안의 길이와 내경은 20 mm, 3 mm인 불투명 폴리에틸렌 원통형으로 제작하였다.

판독은 PCL 3 자동판독기(Fimel, France)를 사용하여 실시하였다. 판독 과정은 수동분배기를 이용하여 열형광분말을 스테인리스 용기로 이동시킨 후 장전기(loader)안에 장착시켜 자동 조작에 의해 하나씩 연속적으로 10초 동안 예열과 가열 오븐으로 이동시킨다(Fig. 1). 오븐의 온도는 항상 일정하게 유지되어야 하며 그 밖의 판독에 대한 매개변수(parameter)는 가능한 낮은 퇴색률과 좋은 재현성에 도달하기 위해 최적화시킨다. Table 1은 PCL 3 판독기의 매개변수를 나타낸 것이다. 이 판독기의 가장 큰 특징은 기존의 수동판독기에 비해 다량의 열형광분말 시료를 빠르게 판독할 수 있으며 약 0.4~0.5% (1SD)의 좋은 재현성(repeatability)을 가진다는 것이다.³⁾ 따라서 본 연구에서는 ${}^{60}\text{Co}$ 감마선에서 선량 2 Gy로 열형광분말을 조사하여 30개의 스테인리스 용기에 나눠 담은 후 이를 판독하여 PCL 3 자동판독기의 재현성을 확인하였다.

전자선 측정용 열형광선량계 홀더는 IAEA와 ESTRO의

전문가들에 의해 설계한 것을 기본으로 하여 PMMA 재질로 제작하였다.⁴⁾ 이 홀더는 세 개의 수직 막대와 하나의 원판으로 구성되어 있으며 원판에는 홈이 파져 있어 열형광선량계 캡슐을 삽입할 수 있다. 열형광선량계 캡슐은 원판과 막대사이의 적당한 스페이스 바를 이용하여 각 에너지에 해당하는 기준 깊이에 오도록 조절한 후 물 팬텀 안에 넣어 사용한다(Fig. 2).

2. 열형광선량계의 선량평가

전자선 에너지 E일 때 열형광선량계의 기하학적 중심의 물 흡수선량 D_m 은 다음 식으로 표현할 수 있다.³⁾

$$D_m = 2[(M - A)/R]C_D C_E C_T \quad (1)$$

여기서 M 은 판독기의 전기적 background를 뺀 열형광선량계의 평균 측정값, A 는 평균 background, R 은 열형광선량계 시스템의 교정계수(calibration coefficient), C_D 는 기준 열형광선량계의 선량반응도에 대한 비선형성 보정인수(dose

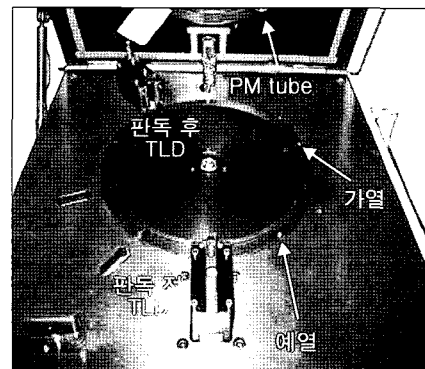


Fig. 1. PCL 3 Reader (Fimel France).

Table 1. PCL 3 Reader parameter setting for readout of TLD-700 powder.

Parameter	Value of the parameter
Temperature of pre-heating	170°C
Temperature of heating	300°C
Photomultiplier voltage	850 V
Stop time in intermediate position	50 (1/10) sec
Stop time in heating position	350 (1/10) sec
Integration time	350 (1/10) sec
Dividing factor	1000 (a=1~32000)
Adjustment constant	0 (b=0~1000)
Operating mode	Normal
PM threshold	1000
PM AGC	Blue

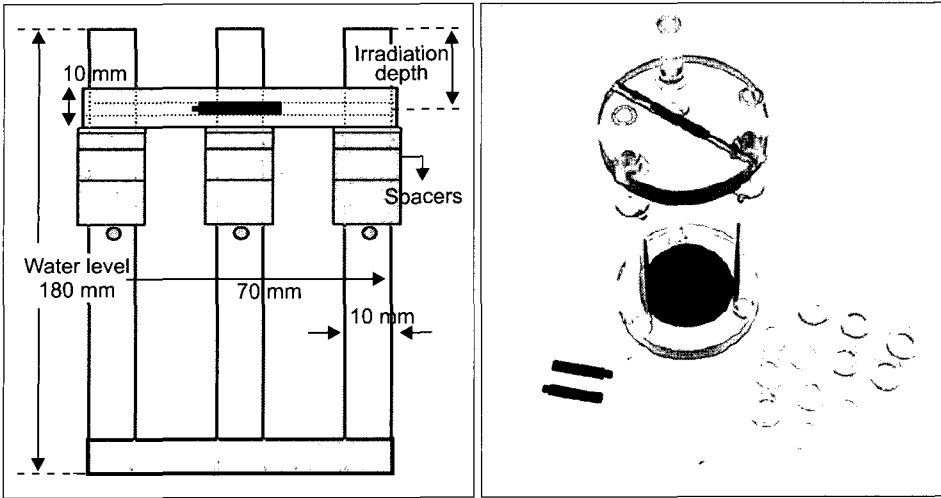


Fig. 2. IAEA PMMA electron type holder.

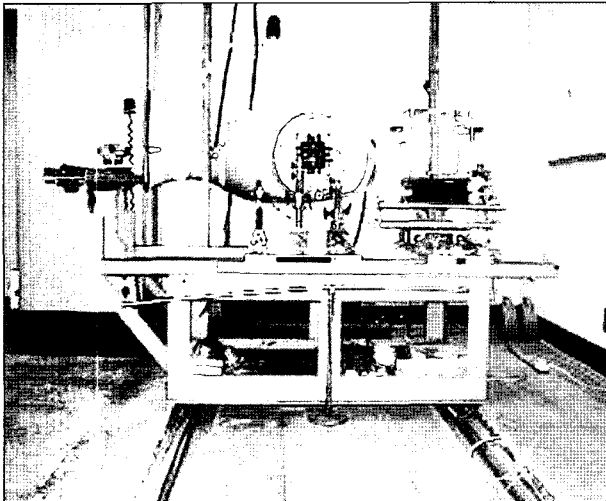


Fig. 3. Eldorado-6 ⁶⁰Co r-ray irradiation unit (KFDA).

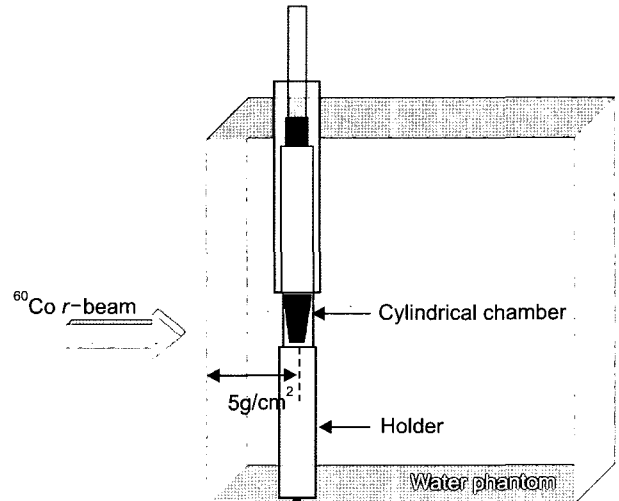


Fig. 4. Experimental set-up for reference cylindrical chamber.

response non-linearity correction factor)이며, C_T 는 퇴색에 대한 보정인수(fading correction factor), 그리고 C_E 는 에너지 보정인수(energy correction factor)이다.

1) 열형광선량계 시스템의 교정계수

열형광선량계의 교정계수 R 은 ⁶⁰Co 감마선에서 물 흡수 선량 2 Gy당 열형광반응도의 역수로 결정이 된다. 본 연구에서는 ⁶⁰Co 감마선의 선량에 대해 정확성을 확보하기 위해 이차표준기관인 식품의약품안전청의 Eldorado-6 ⁶⁰Co 감마선 조사장치를 이용하였다(Fig. 3). 이때 선량은 표준 측정 장비인 Keithley 6517 전기계와 NE 2561 이온함을 사용하여 측정하였으며, 이온함에 대한 물 흡수선량 교정계수에 대한 합성불확도는 0.6% (k=2)로 국제도량(Bureau Inter-

national des Poids et Mesures, BIPM)에 소급성(traceability)을 가진다. 선원과 선량계 사이의 거리는 100 cm로 하였고 조사야는 10×10 cm²로 하였으며 물 깊이 5 cm에 표준보조대를 이용하여 열형광선량계를 위치시켰다(Fig. 4).

2) 열형광선량계의 보정인수

기준 열형광선량계의 선량반응도에 대한 비선형성 보정인수 C_D 는 ⁶⁰Co 감마선의 기준 선량 2 Gy에서 판독된 열형광선량계의 평균측정값과 선량 범위 1 Gy에서 3 Gy까지 0.25 Gy 간격으로 조사된 각각의 열형광 반응도의 비율로 결정이 된다. 각 선량당 3개의 열형광선량계 캡슐을 조사하였으며, 하나의 캡슐은 3번의 판독이 가능하다. 이 중 최대값과 최소값을 제외한 7번의 평균측정값을 사용하였다.

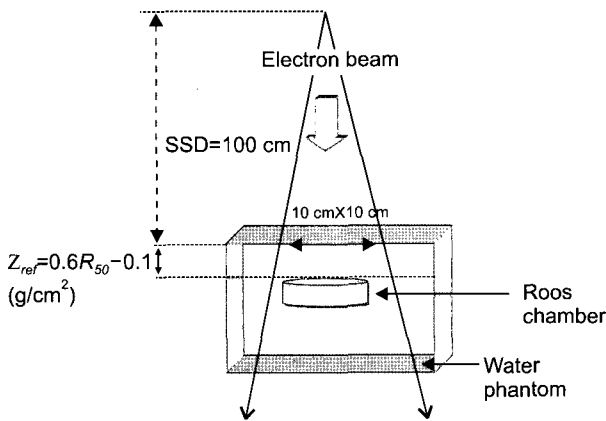


Fig. 5. Experimental set-up for the electron dosimetry.

Table 2. Characteristics of the electron beams considered in this study.

Nominal energy (MeV)	Half-value depth in water, R_{50} (g/cm^2)	Reference depth, z_{ref} (g/cm^2)	Beam quality conversion factor, k_{Q,Q_0}
6	2.28	1.30	0.947
9	3.52	2.00	0.932
12	4.79	2.80	0.920
16	6.48	3.80	0.908
20	8.17	4.80	0.897

퇴색보정인수 C_T 는 약 10주 동안 열형광선량계를 판독하여 그 결과를 바탕으로 결정하였다. 에너지 보정인수 C_E 는 기준선질인 ^{60}Co 감마선과 전자선 에너지의 반응도 차이를 보정하는 것으로 전자선에너지 6, 9, 12, 16, 20 MeV에서 각각의 열형광 반응도에 대해 ^{60}Co 감마선의 선량 2 Gy에 대한 열형광 반응도 측정값의 비율로 구하였으며 각각의 전자선에너지당 4개의 열형광선량계를 조사하여 이 중 최대값과 최소값을 제외한 10번의 평균측정값을 사용하였다. 전자선은 선형가속기(Varian CL 2100C, USA)에서 발생하는 에너지 6, 9, 12, 16, 20 MeV에 대해 물 흡수선량이 2 Gy가 되도록 조사하였으며, Roos형의 PTW W340001 평행평판형이온함을 이용하여 물 흡수선량을 결정하였다(Fig. 5).

전자선에 대한 물 흡수선량은 새로운 프로토콜 IAEA TRS-398의 절차에 따랐다. 이 프로토콜은 물 흡수선량을 표준으로 하고 있으며 기존의 조사선량 또는 에어커마 교정계수에 토대로 하고 있는 프로토콜 IAEA TRS-277에 비해 여러 보정인수나 물리적 상수의 사용 없이 선질에 대한

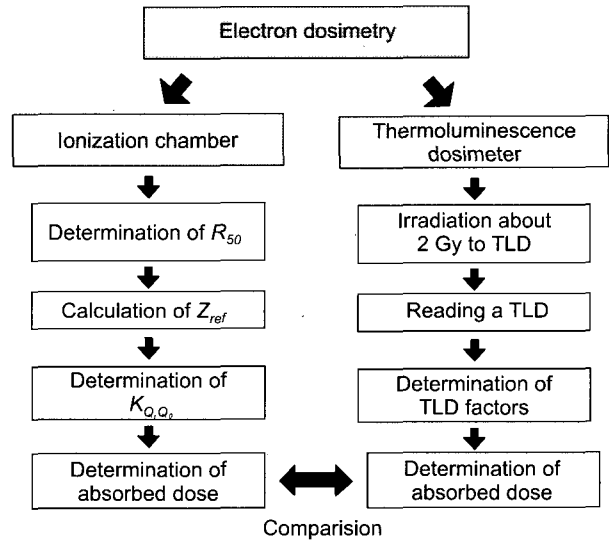


Fig. 6. Flow chart of electron dosimetry.

보정(k_{Q,Q_0})만으로 흡수선량을 결정할 수 있기 때문에 수식체계가 간소화되어 계산과정에서 발생할 수 있는 여러 불확도 요인들이 사라진다는 장점을 가지고 있다. 또한 전자선 선량측정 시 모든 에너지에 대해 평행평판형이온함을 사용하여 선량을 측정할 것을 권고하고 있으며 특히 10 MeV ($R_{50} \leq 4 g/cm^2$) 이하 저에너지 전자선에서는 평행평판형이온함을 필수적으로 사용할 것을 명시하고 있다. 사용된 전자선 에너지에 대한 물리적 특성을 Table 2에 나타내었다.

3. 백지검사(Blind test)

본 연구에서는 위의 방법에 의해 결정된 열형광선량계 시스템에 대한 교정계수 및 각각의 보정인수를 적용해 얻은 물 흡수선량의 정확도를 확인하기 위해 전자선 에너지 9, 16, 20 MeV에 대해 백지검사를 실시하였으며 이 결과를 Roos형의 평행평판형이온함으로 측정된 선량결과와 비교하여 그 차이를 확인하였다(Fig. 6). 이때 SSD는 100 cm이고 팬텀 표면에서의 조사야는 $10 \times 10 cm^2$ 로 하였다.

결 과

1. 자동판독기의 재현성 실험

PCL 3 자동판독기의 재현성을 검증한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 이때 상대 표준편차는 0.49% (1σ)로 열형광물질을 chip이나 rod 형태로 이용하는 기존의 수동판독기에 비해 매우 우수한 재현성을 나타내었다.⁴⁾

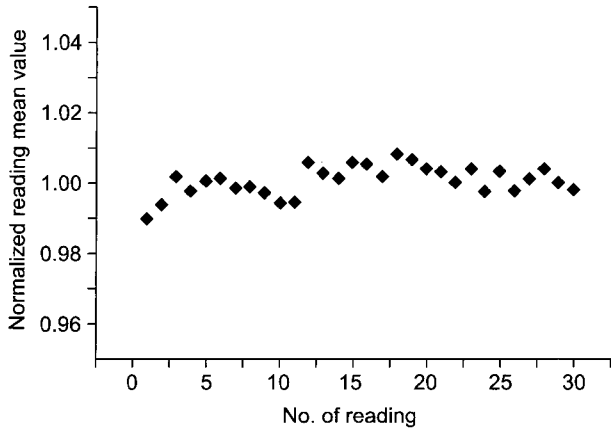


Fig. 7. Reproducibility test of PCL 3 reader.

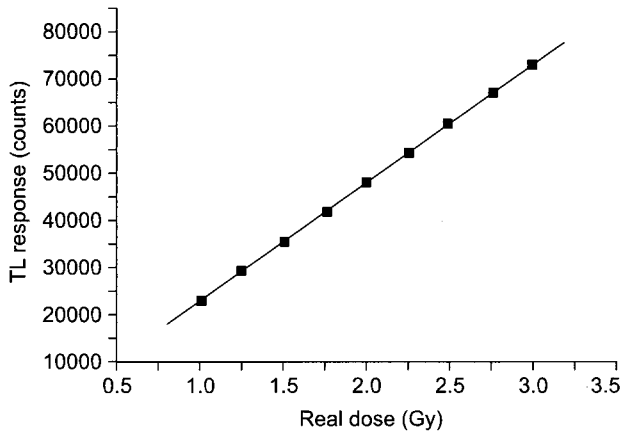


Fig. 8. Calibration coefficient of the TLD system.

2. 열형광선량계 시스템의 교정계수 결정

Fig. 8은 ⁶⁰Co 감마선의 선량에 따른 열형광 반응도를 그래프로 나타냈으며 다음과 같은 함수를 얻을 수 있었다.

$$TL_{response} = 6266 \text{ Dose} + 1674 \quad (2)$$

위 함수에 따라 본 연구에 사용된 열형광선량계 시스템에 대한 교정계수는 $R=4.165E-05$ (Gy/counts)로 결정하였다. 이 교정계수는 사용된 열형광분말과 자동판독기뿐만 아니라 열처리오븐, 수동분배기 및 스테인리스 용기 등을 모두 포함하는 열형광선량계 시스템의 교정계수이므로 이 중 어떤 하나의 장비에 변화가 있더라도 다시 측정하여 새로운 교정계수를 산출하여야 한다.

3. 열형광선량계의 교정인수 결정

Table 3은 ⁶⁰Co 감마선의 선량범위 1~3 Gy에 대한 열형광 반응도를 나타낸 것으로 상대 표준편차(1σ)는 0.83%에서 1.37%로 나타났다. 이는 다른 보고서에서 열형광선량계의 판독치 표준편차로 제시하고 있는 2%의 범주 안에 모두 들어가는 결과이다.

열형광선량계의 선량반응도에 대한 비선형성 보정인수 C_D 는 2 Gy의 선량으로 측정된 판독치에 대한 각 선량의 측정값의 비율로 구하였다. Fig. 9는 이 결과를 그래프로 나타낸 것으로 다음과 같은 선량반응도의 보정함수를 얻을 수 있었다.

$$f_{lin} = -0.024 D_{OSE} + 1.052 \quad (3)$$

Table 3. Results of TL response irradiated at ⁶⁰Co beam.

Real dose (Gy)	0.999	1.249	1.499	1.749	1.999	2.249	2.499	2.749	3.000
1	2348	2919	3591	4152	4765	5407	5988	6849	7400
2	2320	2928	3613	4117	4756	5321	6038	6721	7324
3	2285	2902	3560	4222	4836	5386	5996	6717	7318
4	2354	2875	3570	4102	4897	5430	6097	6714	7326
5	2348	2870	3572	4136	4853	5492	6019	6776	7263
6	2322	2918	3529	4073	4747	5482	5939	6813	7259
7	2335	2921	3517	4083	4791	5413	6123	6677	7397
8	2348	2955	3601	4172	4751	5549	5966	6625	7311
9	2357	2930	35636	4231	4805	5335	6006	6806	7216
AVG (Counts)	2335	2913	3568	4143	4800	5424	6024	6444	7313
STD (%)	0.99	0.93	0.88	1.37	1.09	1.37	0.89	1.07	0.83
Normalized by 2 Gy	1.027	1.029	1.009	1.014	1.000	0.996	0.996	0.979	0.985

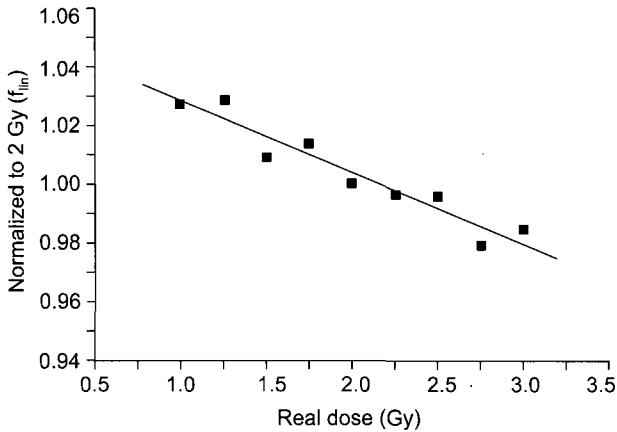


Fig. 9. Dose response correction factor.

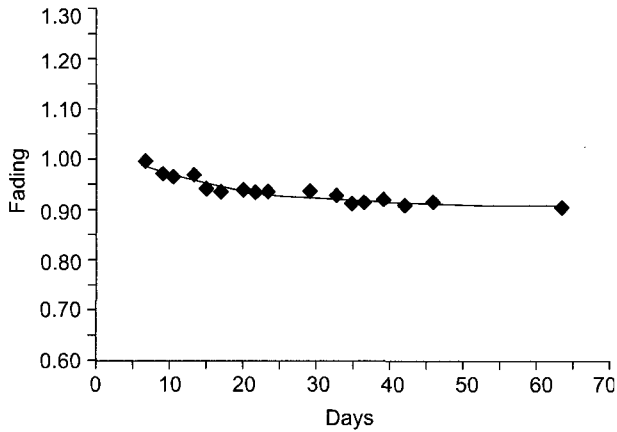


Fig. 10. Fading of TL response of LiF powder.

위 보정함수에 의해 선량 2 Gy에 대한 비선형성 보정인수는 $C_D=1.004 \pm 0.009$ (1σ)로 결정하였다.

Fig. 10은 열형광선량계를 10주에 걸쳐 관독한 결과를 그래프로 나타낸 것이며 다음과 같은 함수를 얻을 수 있었다.

$$Fading = -0.128 \times \exp[-(t_2 - t_1 - 7)/14.51] + 0.909 \quad (4)$$

여기서, t_1 은 열형광분말을 조사한 날짜이며 t_2 는 조사한 열형광분말을 관독한 날짜이다. 본 연구에서는 열형광분말을 조사한 날짜와 관독한 시점을 일주일 간격으로 동일하게 맞추므로써 퇴색에 대한 영향을 최소화하였다.

Fig. 11은 전자선 에너지별 열형광 반응도를 나타낸 것으로 에너지에 대한 의존성을 갖는 광자선과 달리 전자선에서는 전자선 에너지의 함수에 대해 열형광 반응도의 특별한 경향성은 보이지 않았으며 ^{60}Co 감마선의 반응도와 비교한 결과, 에너지 보정인수는 $C_E=1.092 \pm 0.008$ (1σ)이었다.

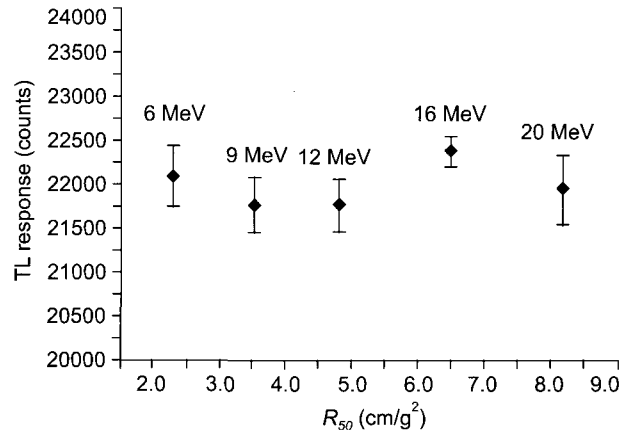


Fig. 11. Energy correction factor for LiF powder.

Table 4. Results of blind test.

Nominal energy	9 MeV	16 MeV	20 MeV
Real dose (Gy)	1.999	1.982	1.890
TL Response (count)	4517	4498	4138
TL response STD	1.86%	1.26%	0.73%
Dose of TLD (Gy)	2.060	2.052	1.888
Deviation	2.98%	3.39%	0.10%

4. 백지검사(Blind test) 결과

Table 4는 열형광선량계를 관독해 얻은 반응도에 교정계수 및 보정인수들을 적용하여 산출한 물 흡수선량과 이온함을 이용한 선량측정을 토대로 얻은 물 흡수선량 결과를 비교한 것으로 열형광선량계의 물 흡수선량이 이온함을 이용해 얻은 물 흡수선량보다 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 이때 에너지 9, 16, 20 MeV 전자선에서의 선량차이는 각각 2.98%, 3.39% 그리고 0.10% (1σ)이었다.

고찰 및 결론

전자선은 인체 조직 내에서 깊이가 증가함에 따라 에너지가 연속적으로 감소하고 이로 인해 산란이 증가하여 깊이이온곡선과 깊이선량곡선이 일치하지 않는 등 광자선에 비해 상대적으로 복잡한 물리적 특성 때문에 정확한 선량측정이 매우 어렵다. 이런 이유로 ESTRO는 IAEA의 지원을 받아 1999년부터 열형광선량계를 이용해 전자선에 대한 품질보증프로그램을 실시하여 왔다. 따라서 본 연구에서는

이들 프로그램을 기본으로 하여 현재 임상에서 실시하고 있는 전자선의 선량측정체계에 대한 정확도를 확인하고 이를 토대로 국내에서도 열형광선량계를 이용한 품질보증프로그램의 타당성을 확인하기 위하여 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 열형광선량계의 판독의 정확성에 영향을 미칠 수 있는 자동판독기에 대한 재현성을 확인하는 실험을 수행한 결과 상대 표준편차는 0.49% (1σ)로 매우 우수한 재현성을 나타냈다. 판독기에 대한 재현성은 열형광선량계를 이용한 선량측정결과의 정확도에 영향을 미칠 수 있으므로 가능한 표준편차 0.50% 이내에서 일정하게 유지되어야 하며, 판독 전에는 반드시 열형광분말에 대한 무게를 측정하여야 이에 대한 오차를 최소화시킴으로써 좀 더 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있도록 해야 한다.

둘째, 열형광량계의 물 흡수선량을 결정하기 위해 열형광선량계 시스템에 대한 교정계수 및 선량반응도에 대한 비선형성 보정인수, 에너지 보정인수, 퇴색 보정인수 등을 산출하였다. 그 결과, 본 연구에 사용된 열형광선량계 시스템의 교정계수는 $R=4.165E-05$ (Gy/counts)였으며, 선량반응도에 대한 비선형성 보정인수는 $C_D=1.004\pm 0.009$ (1σ)을 얻었다. 또한 퇴색 보정인수는 열형광분말을 조사한 날짜와 판독한 시점을 일주일 간격으로 동일하게 맞추므로써 퇴색에 대한 영향을 최소화하였다. 에너지 보정인수에 대해서는 열형광반응도가 전자선 에너지의 함수에 대해 의존성이 없는 것으로 나타났으며 ^{60}Co 감마선의 반응도와 비교한 결과, $C_E=1.092\pm 0.008$ (1σ)를 얻을 수 있었다. 이러한 결과는 동일한 ^7LiF 분말과 PCL-3 자동판독기를 사용하여 ESTRO-EQUAL에서 발표된 여러 보고서의 자료들과 일치하는 것으로 나타났다.^{3,6)}

셋째, 본 연구에서 결정된 열형광선량계 시스템에 대한 교정계수 및 각각의 보정인수를 적용해 얻은 물 흡수선량에 대한 정확도를 확인하기 위해 백지검사(blind test)를 실시하였으며 이 결과를 평행평판형이온함으로 측정된 선량과 상호 비교한 결과, 전자선 에너지 9, 16, 20 MeV에서 상대 표준편차가 각각 2.98%, 3.39% 그리고 0.01% (1σ)로 나타났으며 이는 전자선의 허용수준인 $\pm 5\%$ 이내에서 잘 일치하였다. 그러나 이 결과는 통상 광자선을 대상으로 시행

한 결과와 비교했을 때 상대적으로 큰 편차를 보이는 것으로 이는 전자선이 광자선에 비해 교정 절차가 매우 복잡하고 선형가속기 또한 불안정하여 기하학적인 재현성에서 큰 불확도를 가지기 때문으로 분석된다.^{2,3,7)}

국제적으로 품질보증프로그램의 방법 중 우편을 통한 열형광선량계의 사용을 선호하는 이유는 이온함을 이용한 현장방문(on-site visit)에 비해 정확성은 떨어지나 프로그램을 운용하는 데 있어 지역적 위치에 따른 비용적 측면이 매우 효율적이며 또한 단시간 내에 많은 수의 빔 데이터를 확보할 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구의 결과, 이온함에 비해 편리한 열형광선량계를 이용하여 전자선에 대한 품질보증프로그램의 운영에 대한 가능성을 검증하였으며 이 결과를 바탕으로 국내 의료기관을 대상으로 하여 전자선에 대한 주기적인 품질보증프로그램에 열형광선량계가 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

1. Izewska J, Andreo P: The IAEA/WHO postal programme for radiotherapy hospitals. *Radiother Oncol* 54:65-72 (2000)
2. Dutreix A, Derreumaux S, Chavaudra J, Schuere E: Quality control of radiotherapy centres in Europe. *Radiother Oncol* 32:256-264 (1994)
3. Grmola I, Dam JV, Verstraete J, et al: External audits of electron beams using mailed TLD dosimetry. *Radiother Oncol* 58:163-168 (2001)
4. Marre D, Ferreira IH, Dutreix A, Bridier A, Svensson HJ: Energy correction factors of LiF powder TLDs irradiated in high-energy electron beams and applied to mailed dosimetry for quality assurance networks. *Phys Med Biol* 45:3657-3674 (2000)
5. IAEA technical reports series No. 398: *An International Code of Practice for Dosimetry: absorbed dose determination in external beam radiotherapy*. International Atomic Energy Agency, Andreo (2000)
6. Ferreira IH, Dutreix A, Bridier A, Marre D, Chavaudra J, Svensson H: Home made high precision computerized reader for thermoluminescence dosimetry (TLD). *Med Biol Eng Comput* 35:1001 (1997)
7. Ferreira IH, Dutreix A, Bridier A, Chavaudra J, Svensson H: The ESTRO-QUALITY assurance network (EQUAL). *Radiother Oncol* 55:273-284 (2000)

Quality Assurance Program of Electron Beams Using Thermoluminescence Dosimetry

Jeong-Eun Rah*, Tae-Suk Suh*, Gwe-Ya Kim[†], Hee-Kyo Jeong[†], Dong-Oh Shin[‡]

*Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, The Catholic University of Korea,

[†]Radiation Standards Division, Korea Food & Drug Administration,

[‡]Department of Radiation Oncology, College of Medicine, KyungHee University, Seoul, Korea

The purpose of this study has been performed to investigate the possibility of external audit program using thermoluminescence dosimetry for electron beam in Korea. The TLD system consists of LiF powder, type TLD-700 read with a PCL 3 reader. In order to determine a calibration coefficient of the TLD system, the reference dosimeters are irradiated to 2 Gy in a ⁶⁰Co beam at the KFDA. The irradiation is performed under reference conditions is water phantom using the IAEA standard holder for TLD of electron beam. The energy correction factor is determined for LiF powder irradiated of dose to water 2 Gy in electron beams of 6, 9, 12, 16 and 20 MeV (Varian CL 2100C). The dose is determined according to the IAEA TRS-398 and by measurement with a PTW Roos type plane-parallel chamber. The TLD for each electron energy are positioned in water at reference depth. In this study, to verify of the accuracy of dose determination by the TLD system are performed through a 'blind' TLD irradiation. The results of blind test are 2.98%, 3.39% and 0.01% (1σ) at 9, 16, 20 MeV, respectively. The value generally agrees within the acceptance level of 5% for electron beam. The results of this study prove the possibility of the TLD quality assurance program for electron beams. It has contributed to the improvement of clinical electron dosimetry in radiotherapy centers.

Key Words : TLD, Electron dosimetry, Quality assurance